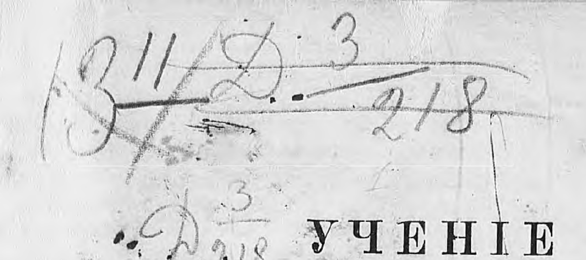
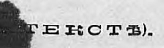


УЧЕНІЕ
о
СЛУХОВЫХЪ ОЩУЩЕНІЯХЪ
какъ
физіологическая основа
для
ТЕОРІИ МУЗЫКИ
Г. ГЕЛЬМГОЛЬЦА.



Переводъ съ третьяго нѣмецкаго изданія

и

ДВѢ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЯ СТАТЬИ ГЕРУ,

заимствованныя изъ французскаго перевода, изданія 1874 года.

(Съ политипажами [illegible] текстѣ).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Товарищества «Общественная Польза»,
по Мойкѣ, № 5.
1875.

НѢСКОЛЬКО СЛОВЪ КЪ ПЕРЕВОДУ.

Въ то время, когда я готовился выпустить въ свѣтъ предлагаемый читателю переводъ сочиненія Г. Гельмгольца, появилось 2-ое изданіе французскаго перевода этого труда съ прибавленіемъ, заключающимъ въ себѣ, какъ пишетъ Г. Геру, «Les plus récents travaux de l'auteur.» Хотя эти «новѣйшіе труды автора», заимствованные изъ 3-го изданія сочиненія Г. Гельмгольца, и не представляютъ ничего новаго для русскаго перевода, но тѣмъ не менѣе въ французскомъ прибавленіи находятся двѣ весьма интересныя статьи самого переводчика Г. Геру, а именно: 1) De la tierce harmonique et de la tierce mélodique 2) Des relations pui existent entre les nombres de vibrations des sons musicaux et leurs intervalles. Règle à calcul acoustique. Статьи Г. Геру, въ особенности же вторая, мнѣ показались столь интересными, что я рѣшился ихъ перевести и приложить къ настоящему труду.

Разнородность нашей отечественной терминологіи заставляетъ меня указать на тѣ изданныя на русскомъ языкѣ сочиненія, которыми я преимущественно пользовался при переводѣ.

1) Курсъ наблюдательной физики. Университетскія чтенія Ѳ. Ѳ. Петрушевскаго. Санктпетербургъ 1870.

2) Руководство къ анатоміи человѣческаго тѣла Д-ра Голлштейна. Переводъ лѣкаря А. Бирщенкера. С.-Петербургъ и Берлинъ 1861.

3) Гистологія концеваго аппарата улитковаго нерва д-ра М. Лавдовскаго. Военно-Медицинскій журналъ, Санктпетербургъ 1873.

4) Краткій учебникъ физіологіи Л. Германна. Переводъ съ нѣмецкаго, просмотрѣнный и дополненный И. Сѣченовымъ. С.-Петербургъ. 1864.

5) Гражданская архитектура. Сочиненіе Аполлинарія Красовскаго. Санктпетербургъ. 1851.

6) Руководство къ практическому изученію гармоніи. Учебникъ составленный профессоромъ московской консерваторіи П. Чайковскимъ. Москва 1872.

7) Всеобщій учебникъ музыки. Руководство для учителей и учащихся по всѣмъ отраслямъ музыкальнаго образованія Адольфа Бернгарда Маркса. Переводъ съ 8-аго нѣмецкаго изданія подъ редакціей А. С. Фаминцына С.-Петербургъ 1872.

8) Учебникъ гармоніи Рихтера. Перев. съ 6-го изданія 1866 года Александръ Фаминцынъ. С.-Петербургъ 1868.

9) Руководство къ изученію гармоніи, приспособленное къ самоученію и составленное Іосифомъ Гунке. С.-Петербургъ.

10) Полное руководство къ сочиненію музыки, составленное Іосифомъ Гунке. С.-Петербургъ, изданіе М. Бернарда.

Кромѣ того вмѣняю себѣ въ пріятную обязанность выразить гласно мою признательность В. В. Сычевскому, содѣйствовавшему мнѣ въ этомъ переводѣ, равно какъ и тѣмъ компетентнымъ лицамъ, которыя своими просвѣщенными указаніями мнѣ во многомъ облегчили этотъ трудъ.

Въ заключеніе обращаю вниманіе читателя на алфавитный указатель и на погрѣшности, помѣщенныя въ концѣ этого труда.

Мих. Пѣтуховъ.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Предавая плоды восьмилѣтняго труда гласности, я прежде всего вмѣняю себѣ въ обязанность выразить гласно мою признательность. Излагаемыя здѣсь изслѣдованія требовали для ихъ окончательнаго уясненія изготовленія новыхъ инструментовъ, не вполнѣ подходившихъ къ инвентарю физіологическаго института и стоимость которыхъ превосходила обыденныя средства нѣмецкаго ученаго. Описанный на стр. 164 до 173 приборъ для искусственнаго составленія звуковъ гласныхъ построенъ благодаря щедрости Его Величества Короля Максимиліана Баварскаго, содѣйствію котораго германское просвѣщеніе уже обязано въ столькихъ научныхъ отрасляхъ. Земмерингенская премія, которую мнѣ присудило зенкенбергское общество естествоиспытателей въ Франкфуртѣ на Майнѣ, послужила мнѣ для изготовленія гармоніона натуральной вѣрной настройки, описаннаго на стр. 450. Выражая еще разъ гласно мою признательность за такое содѣйствіе моимъ трудамъ, я надѣюсь, что излагаемыя здѣсь изслѣдованія могутъ показать лучше всякихъ словъ благодарности, насколько я старался серьезно воспользоваться доставленными мнѣ средствами, чтобы принести ими пользу наукѣ.

Гейдельбергъ, въ Октябрѣ 1862.

Г. Гельмгольцъ.

ПРЕДИСЛОВІЕ КЪ ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНІЮ.

Находящееся передъ читателемъ третье изданіе потерпѣло болѣе существенныя измѣненія, чѣмъ прежнія. Въ шестой главѣ я могъ именно воспользоваться новѣйшими трудами по физіоло- гіи и анатоміи уха, вслѣдствіе чего должно было во первыхъ измѣ- ниться сужденіе объ отправленіяхъ Кортіевыхъ дугъ и во вто- рыхъ, особое суставное соединеніе между молоточкомъ и нако- вальнею является причиною, что къ сильнѣйшимъ простымъ то- намъ легко присоединяются верхніе гармоническіе тоны въ са- момъ ухѣ, отчего этотъ особый рядъ верхнихъ тоновъ, на существ- вованіи которыхъ существенно основана данная здѣсь теорія музы- ки, пріобрѣтаетъ субъективное значеніе, независимое отъ внѣш- нихъ измѣненій оттѣнка звука. Рядъ находящихся здѣсь новыхъ политипажей, служащій къ объясненію анатомическихъ строеній, заимствованъ по большей части, съ согласія автора, изъ руковод- ства къ анатоміи г. Генле (Henle); считаю долгомъ повторить ему гласно мою признательность.

Кромѣ того, я существенно передѣлалъ главы объ исторіи музы- ки, и надѣюсь, что онѣ переданы въ лучшей связи. Впрочемъ я прошу смотрѣть на этотъ отдѣлъ только какъ на компиляцію изъ второстепенныхъ источниковъ; для изученія этого чрезвычайно труднаго предмета по оригиналамъ, я не имѣлъ бы ни времени, ни достаточныхъ предварительныхъ познаній. Древнѣйшая исто- рія музыки, до начала discantus'а составляетъ почти исключитель- но безпорядочный сборникъ второстепенныхъ данныхъ, тогда какъ о главныхъ мы можемъ себѣ составить только гипотетическое представленіе. Между тѣмъ естественно, что всякая теорія му- зыки должна стараться внести въ этотъ хаосъ взаимную связь; въ

немъ во всякомъ случаѣ заключаются данныя, имѣющія важное значеніе.

При обозначеніи высотъ тоновъ по натуральной вѣрной настройкѣ, я оставилъ не вполнѣ наглядный для сложныхъ отношеній способъ первоначально предложенный Гауптманномъ (Hauptmann) и воспользовался системою г. Эттингена (A. v. Oettingen), какъ это уже сдѣлано въ французскомъ переводѣ этого сочиненія г. Геру (G. Guéroult).

Желая облегчить читателямъ предъидущихъ изданій нахожденіе новыхъ добавленій, я обозначаю мѣста, гдѣ они сдѣланы: отъ стр. 174 до 175, отъ 179 до 197, отъ 202 до 207, отъ 223 до 224, 233, 234, 236 вын., 253 вын., 338 вын., 347, 367 до 399, 407, 409 до 412, 429, 438 вын., 463, 494 до 496, 510 до 515, 520.

Приложенія I, II, XI, XII, XIV, XVIII.

Алфавитный указатель.

Наконецъ я долженъ себѣ еще позволить нѣкоторыя замѣчанія о способѣ изложенія, принятомъ въ этомъ сочиненіи для теоріи музыки, такъ какъ обнародованныя въ этомъ отношеніи возраженія были почти исключительно направлены противъ теоріи консонанса, какъ будто это и составляло сущность дѣла. Одни изъ возражателей, которые предпочитали механическія объясненія, выразили свое сожалѣніе, что я вообще въ этомъ кругозорѣ художественнаго творчества и эстетическихъ стремленій человѣческаго духа высказалъ не все, и старались дополнить мою систему новыми вычисленіями. Другіе критики, болѣе метафизическихъ наклонностей, не признали мою теорію консонанса, а вмѣстѣ съ тѣмъ и всю мою теорію музыки, считая ее слишкомъ грубою и механическою.

Да простятъ мнѣ мои критики, если изъ противорѣчія ихъ нареканій я заключаю, что шелъ приблизительно вѣрнымъ путемъ. Я долженъ требовать отъ моей теоріи консонанса, чтобы она была только сводомъ возможныхъ для наблюденія фактовъ, не принимая во вниманіе совершенно впрочемъ необходимой гипотезы объ отправленіяхъ улитки. Но я считаю ошибкою, если теорію консонанса дѣлаютъ существеннымъ основаніемъ теоріи музыки и былъ того мнѣнія, что достаточно это выяснилъ въ этомъ сочине-

ніи. Существенная основа музыки,—мелодія. Гармонія составляетъ существенное и необходимое усиливающее средство мелодическаго сродства западно-европейской музыки послѣднихъ трехъ столѣтій, но утонченно развитая музыка существовала цѣлыя тысячилѣтія безъ гармоніи и существуетъ еще въ такомъ видѣ у народовъ не европейскихъ. Кромѣ того моимъ метафизико эстетическимъ противникамъ я долженъ отвѣтить, что я не думаю чтобы въ теоріи мелодичныхъ построеній мною были бы оцѣнены слишкомъ ограниченно стремленія человѣческаго духа, если я даже и пытался указать на физіологическіе факты, служащіе исходною точкою для эстетическаго чувства. Тѣмъ же, которымъ кажется, что я недостаточно подвинулъ мои естественно-научныя объясненія, я возражу, что во первыхъ естествоиспытатель не считаетъ себя вообще обязаннымъ излагать цѣлыя системы о всемъ томъ, что онъ знаетъ, или чего не знаетъ, и во вторыхъ, что я считалъ бы за осужденную такую теорію, въ которой бы доказывались всѣ законы современнаго генералъ-баса, потому чтобы въ ней было бы слишкомъ много доказано.

Мое характеризированіе минорнаго лада (Mollgeschlecht) встрѣтило большею частью отпоръ со стороны музыкантовъ. Въ этомъ отношеніи, я долженъ сослаться на легко доступные документы и композиціи, относящіеся къ времени развитія современнаго минора отъ 1500 до 1750 года. При этомъ можно убѣдиться какъ онъ развивался измѣнчиво и медленно, и въ томъ, что послѣдніе слѣды его неоконченности находятся еще у Себастіана Баха и у Генделя.

Гейдельбергъ, въ Маѣ 1870.

Г. Гельмгольцъ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ОТДѢЛЪ ВТОРОЙ.

НАРУШЕНІЯ ЗВУКОВАГО СОЧЕТАНІЯ.

КОМБИНАЦІОННЫЕ ТОНЫ И ДРОЖАНІЯ. КОНСОНАНСЪ И ДИССОНАНСЪ.

ОТДѢЛЪ ТРЕТІЙ.

СРОДСТВО ЗВУКОВЪ.

ГАММЫ И ТОНАЛЬНОСТЬ.

Приложенія.

Двѣ статьи Г. Гepy.

ВВЕДЕНІЕ.

Въ предлагаемомъ читателю сочиненіи, авторъ старался установить связь наукъ, существовавшихъ до сихъ поръ довольно раздѣльно, не смотря на ихъ взаимныя ссылки, зависящія отъ многихъ естественныхъ другъ къ другу отношеній; это относится именно къ связи физической и физіологической акустики съ музыкальною наукою и эстетикою. Слѣдовательно, въ этомъ сочиненіи, авторъ обращается къ кругу читателей, получившихъ весьма разнородное образованіе и преслѣдующихъ весьма различныя цѣли; поэтому будетъ не безполезно, если онъ объяснитъ съ самаго начала, какою онъ руководился мыслью, когда предпринялъ этотъ трудъ и какую онъ имъ хотѣлъ достигнуть цѣль. Свѣдѣнія естествованія, философіи и искусствъ развились въ новѣйшее время порознь болѣе чѣмъ слѣдуетъ; поэтому въ каждой изъ этихъ отраслей знанія существуетъ нѣкоторая трудность пониманія языка, методовъ и цѣлей другой отрасли, что конечно было главнымъ образомъ помѣхою тому, что изслѣдуемая нами здѣсь задача не была уже давно подробнѣе разработана и даже рѣшена.

Правда, что акустика пользуется всюду понятіями и названіями, заимствованными изъ ученія о гармоніи; она говоритъ о гаммахъ, интервалахъ, консонансахъ и т. п. Правда, что учебники генералъ-баса начинаются обыкновенно главою изъ физики, которая говоритъ о числахъ колебаній тоновъ и установливаетъ ихъ отношенія для различныхъ интерваловъ; однако эта связь акустики съ музыкальною наукою оставалась до сихъ поръ чисто внѣшнею; на самомъ же дѣлѣ она была скорѣе признакомъ того, что чувствуютъ и сознаютъ необходимость связи названныхъ наукъ, чѣмъ доказательствомъ того, что съумѣли бы установить такую связь въ дѣйствительности, потому что хотя физическія познанія и могли быть полезными для изготовителя музыкальныхъ инструментовъ, но для дальнѣйшаго развитія и подтвержденія данныхъ ученія о гармоніи, физическое введеніе было еще до сихъ поръ совершенно безполезно. Однако же существенные факты этой отрасли знанія, которые слѣдуетъ прежде всего объяснить и

изслѣдовать, были уже извѣстны съ древнѣйшихъ временъ. Уже Пиѳагоръ зналъ, что если струны одинаковаго качества, одинаковой натянутости, но неравной длины должны дать совершенные консонансы октавы, квинты или кварты, то ихъ длины должны быть соотвѣтственными отношеніямъ 1 къ 2, 2 къ 3 или 3 къ 4, и если онъ, какъ можно предполагать, пріобрѣлъ отчасти свои познанія отъ египетскихъ жрецовъ, то никакъ нельзя опредѣлить времени знанія этого закона до Пиѳагора. Новѣйшая физика расширила законъ Пиѳагора тѣмъ, что перешла отъ длины струнъ къ числамъ колебаній, вслѣдствіе чего онъ сдѣлался примѣнимымъ къ тонамъ всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ; кромѣ того, къ вышеприведеннымъ численнымъ отношеніямъ, присоединили еще отношеніе 4 къ 5 и 5 къ 6 менѣе совершенно консонирующихъ интерваловъ терцій; однако мнѣ неизвѣстно, сдѣланъ ли былъ дѣйствительно шагъ для разрѣшенія вопроса: что имѣютъ общаго музыкальные консонансы съ отношеніемъ первыхъ шести цѣлыхъ чиселъ? Какъ музыканты, такъ и философы и физики удовлетворялись большею частью тѣмъ, что человѣкъ можетъ постичь какимъ либо неизвѣстнымъ намъ способомъ численныя отношенія колебаній тоновъ и что онъ испытываетъ особенное наслажденіе, имѣя предъ собою простыя и легко понимаемыя отношенія.

Между тѣмъ, въ тѣхъ вопросахъ, разрѣшеніе которыхъ основывается болѣе на психологическихъ, чѣмъ на чувственныхъ данныхъ, эстетика музыки сдѣлала неоспоримые успѣхи, въ особенности же тѣмъ, что при изслѣдованіи музыкальныхъ произведеній искусства, она обратила вниманіе на понятіе о движеніи. Гансликъ (E. Hanslick) въ своемъ сочиненіи «О музыкально-прекрасномъ» осудилъ поразительно своею критикою ложное воззрѣніе преувеличенной сентиментальности, которое служило любимою исходною точкою для составленія разныхъ теорій о музыкѣ и указалъ на простые элементы мелодическаго движенія. Эстетическія отношенія архитектоники музыкальныхъ сочиненій и характеристичныя различія отдѣльныхъ формъ композиціи, изложенныя въ болѣе широкомъ размѣрѣ, мы находимъ въ эстетикѣ Фишера (Vischer).

Подобно тому, какъ въ неорганическомъ мірѣ посредствомъ рода движенія открывается родъ движущихъ его силъ и даже наконецъ элементарныя силы природы могутъ быть узнаваемы и измѣрены ничѣмъ другимъ, какъ происходящими подъ ихъ вліяніемъ движеніями, точно также это бываетъ и съ движеніями, проявляющимися подъ вліяніемъ различныхъ настроеній человѣческаго духа, выразятся ли они движеніемъ тѣла или голоса. Поэтому особенности движенія тоновъ, дающія характеръ граціи, игривости, тягости, энергіи, томленія, силы, покоя, волненія и т. д., зависятъ очевидно главнымъ образомъ отъ психологическихъ причинъ. Тоже самое относится какъ къ рѣшенію тѣхъ вопросовъ, которые касаются уравновѣшиванія отдѣльныхъ частей музыкальной композиціи, ихъ связнаго взаимнаго развитія и ихъ соединенія въ одно ясно обнимаемое цѣлое, такъ и къ рѣшенію подобныхъ же вопросовъ въ теоріи строительнаго искусства. Но всѣ эти изслѣдованія, хотя съ дня на день и даютъ нѣкоторыя пріобрѣтенія, должны тѣмъ не менѣе оставаться отрывочными и неполными, пока имъ недостаетъ своего собственнаго истиннаго начала и основы, т. е. научнаго основанія элементарныхъ правилъ построенія гаммъ, аккордовъ, *тоновъ* (Tonarten) и вообще всего того, что обыкновенно соединяется въ такъ называемомъ генералъ-басѣ. Въ этой элементарной отрасли знанія мы имѣемъ дѣло не только съ свободными изобрѣтеніями искусства, но и съ непосредственною силою природы чувственныхъ ощущеній. Музыка находится въ гораздо болѣе близкомъ отношеніи къ необусловленнымъ прямо ощущеніямъ чувствъ, чѣмъ всѣ другія искусства, которыя имѣютъ скорѣе дѣло съ чувственными воспріятіями, т. е. съ представленіями о внѣшнихъ предметахъ, получаемыхъ нами посредствомъ психическихъ процессовъ, только изъ чувственныхъ ощущеній. Поэзія стремится рѣшительнѣе всего возбудить представленія тѣмъ, что она обращается къ фантазіи и памяти и только иногда къ непосредственному ощущенію слуха, посредствомъ второстепенныхъ, болѣе музыкальнаго рода, вспомогательныхъ средствъ; напр.: посредствомъ ритма или же оттѣнковъ голоса и движенія рѣчи при декламаціи. Поэтому ея дѣйствія основываются почти исключительно на психическихъ дѣятельностяхъ. Правда, что нѣкоторыя изящныя искусства пользуются чувственными ощущеніями глаза, но при этихъ отношеніяхъ они разнятся незначительно отъ соотвѣтственныхъ отношеній поэзіи къ ощущеніямъ слуха. Они стремятся главнымъ образомъ произвести въ насъ представленіе внѣшняго объекта опредѣленной формы и цвѣта. Мы должны существенно интересоваться только изображеннымъ предметомъ и любоваться его красотами, а не средствами, которыя послужили къ его изображенію. По крайней мѣрѣ наслажденіе знатока искусства, происходящее отъ техническихъ совершенствъ деталей статуи или картины, не составляетъ еще существенной составной части истиннаго художественнаго наслажденія.

Въ живописи, какъ непосредственно воспринимаемый чувственнымъ ощущеніемъ элементъ безъ необходимаго посредства акта мышленія, входитъ только краска. Напротивъ въ музыкѣ, ощущенія тоновъ составляютъ дѣйствительно непосредственный матеріалъ ис-

кусства; изъ этихъ ощущеній, по крайней мѣрѣ, пока они ограничиваются только одною музыкою, мы не составляемъ себѣ представленій внѣшнихъ предметовъ и процессовъ. Или же, если при исполненіи концерта, мы различаемъ, что такой-то звукъ извлеченъ изъ скрипки, а другой изъ кларнета, то чувство художественнаго наслажденія основывается всё-таки не на представленіи формъ скрипки и кларнета, но только на ощущеніи ихъ тоновъ; тогда какъ наоборотъ, чувство художественнаго наслажденія воспроизводимое на насъ мраморною статуею, основывается не на ощущеніи бѣлаго цвѣта, передаваемаго ею глазу, но на представленіи красоты формъ, изображаемаго ею человѣческаго тѣла. Ясно, что въ этомъ смыслѣ музыка имѣетъ болѣе непосредственную связь съ чувственнымъ ощущеніемъ, чѣмъ какое бы то ни было изъ другихъ искусствъ; изъ этого же также слѣдуетъ, что ученію о слуховыхъ ощущеніяхъ придется играть гораздо болѣе существенную роль въ музыкальной эстетикѣ, чѣмъ напр.: теоріи тѣней или перспективы въ живописи. Эти послѣдніе предметы дѣйствительно полезны художнику для того, чтобы ими достигнуть возможно совершеннаго изображенія натуры, но не имѣютъ ничего общаго съ художественнымъ впечатлѣніемъ, производимымъ на насъ его твореніемъ. Напротивъ, въ музыкѣ не стремятся просто къ изображенію внѣшней природы; тоны и ощущенія тоновъ существуютъ единственно для самихъ себя и дѣйствуютъ на насъ вполнѣ независимо отъ ихъ отношенія къ какому бы то ни было внѣшнему предмету.

Это ученіе о слуховыхъ ощущеніяхъ входитъ въ область естественныхъ наукъ, а именно прежде всего въ физіологическую акустику. Почти что до сихъ поръ была обстоятельно обработана только физическая часть ученія о Звукѣ, т. е. до сихъ поръ изслѣдовали только движенія, совершаемыя звучащими твердыми, жидкими и газообразными тѣлами, когда они воспроизводятъ ощущаемый ухомъ Звукъ. По своей сущности, физическая акустика ничто иное, какъ часть ученія о движеніяхъ упругихъ тѣлъ. Въ физическомъ отношеніи совершенно все равно, наблюдаютъ ли колебанія струнъ на спирали изъ мѣдной проволоки, движенія которой происходятъ такъ медленно, что можно удобно за ними слѣдить глазомъ, отчего они именно и не возбуждаютъ ощущенія Звука, — или же приводятъ въ колебанія струну скрипки, которыя едва воспринимаются глазомъ въ то время, какъ ихъ слышитъ ухо. Законы колебательныхъ движеній въ обоихъ случаяхъ совершенно тѣже, и будутъ ли движенія быстры или медленны, они не повліяютъ на неизмѣнность законовъ, но принудятъ наблюдателя примѣнять различные способы наблюденія, заставляя его пользоваться то глазомъ, то ухомъ. Слѣдовательно,

въ физической акустикѣ на явленія слуха обращается вниманіе только потому, что ухо составляетъ удобнѣйшее и ближайшее вспомогательное средство для наблюденія болѣе быстрыхъ упругихъ колебаній, и потому, что физикъ долженъ знать свойства этого естественнаго, употребляемаго для наблюденія аппарата, чтобы имѣть возможность сдѣлать вѣрные выводы изъ его показаній. Поэтому, существовавшая до сихъ поръ физическая акустика собрала не мало свѣдѣній и наблюденій, принадлежащихъ ученію о дѣятельностяхъ уха, т. е. къ физіологической акустикѣ, но они не были главною цѣлью изслѣдованій, а составляли нѣчто побочное и отрывочное. Если въ физикѣ особая глава объ акустикѣ обыкновенно вообще и отдѣляется отъ ученія о движеніяхъ упругихъ тѣлъ, къ которому она должна была бы принадлежать по существу дѣла, то это оправдывается именно только тѣмъ, что примѣненіе къ дѣлу органа слуха повлекло бы за собою особаго рода опыты и способы наблюденія.

Рядомъ съ физическою акустикою существуетъ физіологическая, которая имѣетъ цѣлью изслѣдовать процессы въ самомъ ухѣ. Та часть этой науки, которая занимается прохожденіемъ Звуковато движенія отъ отверстія уха до развѣтвленія нервовъ въ лабиринтѣ внутренняго уха, подверглась многосторонней обработкѣ, въ особенности же въ Германіи съ тѣхъ поръ, какъ этому положилъ начало Іоганнъ Мюллеръ (Iohann Müller). Конечно, мы при этомъ должны сказать, что многіе выводы еще не вполнѣ строго достигнуты въ этомъ предметѣ. Но этими стремленіями была затронута только часть задачи, другая же была совсѣмъ оставлена безъ вниманія. Изслѣдованіе процессовъ въ каждомъ изъ нашихъ органовъ чувствъ имѣетъ вообще три различныя части. Прежде всего слѣдуетъ изслѣдовать, какимъ образомъ внѣшняя причина, возбуждающая ощущеніе, т. е. свѣтъ въ глазѣ, Звукъ въ ухѣ, проводится до чувствующихъ нервовъ. Эту первую часть мы можемъ назвать физическою частью, соотвѣтствующаго физіологическаго изслѣдованія. Во 2-хъ слѣдуетъ изслѣдовать различныя возбужденія собственно нервовъ, которыя отвѣчаютъ различнымъ ощущеніямъ, и наконецъ законы, по которымъ составляются изъ подобныхъ ощущеній представленія опредѣленныхъ внѣшнихъ объектовъ, т. е. составляются восприятія. Слѣдовательно, это еще даетъ вторую физіологическую часть изслѣдованія ощущеній и въ третьихъ, часть психологическую, занимающуюся восприятіями. Если физическая часть ученія о слухѣ была уже многосторонне изслѣдована, то изъ физіологической и психологической части мы можемъ пока привести только неполныя и случайныя частности науки; а физіологическая часть, ученіе о слуховыхъ ощущеніяхъ, по преимуществу

есть именно та, отъ которой должна заимствовать выводы, какъ отъ естественной науки, теорія музыки.

Въ предлагаемомъ читателю сочиненіи, я прежде всего усиливался собрать данныя для ученія о слуховыхъ ощущеніяхъ насколько онѣ были до сихъ поръ извѣстны, или могли быть дополнены моими собственными изслѣдованіями. Конечно, что первый такого рода опытъ долженъ имѣть довольно много пробѣловъ и долженъ ограничиваться основными чертами и самыми интересными частями изслѣдуемаго предмета. Въ этомъ-то смыслѣ и прошу принимать предлагаемыя здѣсь изслѣдованія. Хотя въ сопоставленныхъ положеніяхъ входитъ только немногое обнимающее совершенно новыя открытія и хотя по большей части то, что содержится въ этомъ немногомъ изъ новыхъ фактовъ и наблюденій, вытекало большею частью непосредственно изъ того, что я полнѣе, чѣмъ какъ это до сихъ поръ дѣлалось, изслѣдовалъ уже извѣстныя теоріи и методы опытовъ въ ихъ послѣдовательности, тѣмъ не менѣе факты, какъ я полагаю, пріобрѣтаютъ новое значеніе и новое разъясненіе разностороннѣе, если ихъ разсматриваютъ съ другой точки зрѣнія и въ другой, чѣмъ до сихъ поръ, взаимной связи.

Первая часть нижеслѣдующаго изслѣдованія, въ сущности физическаго и физіологическаго содержанія; въ ней изслѣдуется явленіе верхнихъ гармоническихъ тоновъ, опредѣляется сущность этого явленія, доказывается его отношеніе къ различіямъ оттѣнковъ звука и анализируется рядъ оттѣнковъ въ отношеніи къ ихъ верхнимъ гармоническимъ тонамъ, при чемъ оказывается, что эти тоны не представляютъ, какъ большею частью до сихъ поръ полагали, явленіе незначительной силы, встрѣчающееся въ отдѣльныхъ случаяхъ, но что они скорѣе, за весьма немногими исключеніями, приходятся на долю звуковъ почти всѣхъ звучащихъ инструментовъ и достигаютъ непосредственно значительной силы въ годныхъ для музыкальныхъ цѣлей оттѣнкахъ звука. Вопросъ о томъ, какъ достигается воспринятіе верхнихъ гармоническихъ тоновъ посредствомъ уха, поведетъ къ гипотезѣ о способѣ возбужденія слуховаго нерва, которая клонится къ тому, чтобы свести всѣ факты и законы, принадлежащіе этой отрасли знанія, къ относительно простому механическому представленію.

Вторая часть занимается нарушеніями одновременнаго звучанія двухъ тоновъ, именно: комбинаціонными тонами и дрожаніями. Изъ физико-физіологическаго изслѣдованія оказывается, что два тона только тогда могутъ быть одновременно, не мѣшая другъ другу въ своемъ теченіи, ощущаемы въ ухѣ, когда они находятся относительно другъ друга въ совершенно опредѣленныхъ отношеніяхъ интерваловъ, именно въ извѣстныхъ интервалахъ музыкальныхъ консонан-

ОТДѢЛЪ ПЕРВЫЙ.

СЛОЖЕНІЕ КОЛЕБАНІЙ.

ВЕРХНІЕ ТОНЫ И ОТТѢНКИ ЗВУКА.

совъ. Такимъ образомъ, мы здѣсь непосредственно переходимъ въ область музыкальную и предъ нами открывается физическая причина загадочнаго закона численныхъ отношеній, даннаго Пиѳагоромъ. Величина консонирующихъ интерваловъ независима отъ оттѣнка звука, но степень благозвучія консонансовъ, рѣзкость ихъ отличія отъ диссонансовъ, зависима отъ оттѣнка. Выводы физіологической теоріи вполнѣ согласуются съ правилами музыкальнаго ученія объ аккордахъ; они даже вдаются въ бо̀льшія подробности, чѣмъ это можетъ быть достигнуто послѣднимъ предметомъ и, какъ я полагаю, имѣютъ на своей сторонѣ авторитетъ лучшихъ композиторовъ.

Въ этихъ первыхъ отдѣлахъ сочиненія, эстетическія соображанія совсѣмъ не принимаются во вниманіе; дѣло идетъ только о явленіяхъ природы, вступающихъ въ эти отдѣлы по слѣпой необходимости. Третій отдѣлъ разсматриваетъ строеніе гаммъ и *тоновъ* (Tonarten). Здѣсь мы находимся на эстетической почвѣ и здѣсь то начинаются различія національнаго и индивидуальнаго вкуса. Современная музыка развила главнымъ образомъ строго и послѣдовательно принципъ тональности, по которому всѣ тоны музыкальнаго сочиненія связываются вмѣстѣ посредствомъ ихъ сродства съ однимъ главнымъ тономъ, тоникою. Коль скоро мы принимаемъ этотъ принципъ за данный, строеніе нашихъ современныхъ гаммъ и *тоновъ* выводится изъ результатовъ предшествовавшихъ изслѣдованій путемъ, исключающимъ всякій произволъ.

Я не хотѣлъ отдѣлить физіологическое изслѣдованіе отъ музыкальныхъ выводовъ потому, что ихъ вѣрность должна служить физіологу подтвержденіемъ вѣрности изложенныхъ физическихъ и физіологическихъ воззрѣній, а читателю, который принимается за чтеніе этого сочиненія съ музыкальною цѣлью, смыслъ и дальность выводовъ не можетъ сдѣлаться вполнѣ яснымъ, если онъ не постарается по крайней мѣрѣ понять смыслъ естественнонаучныхъ основаній. Впрочемъ, чтобы пониманіе сочиненія было доступно и читателямъ, не имѣющимъ подробнаго знанія физики и математики, я помѣстилъ, какъ болѣе спеціальныя указанія для производства сложныхъ опытовъ, такъ и всѣ математическіе выводы, въ прибавленіи, находящемся въ концѣ книги. Слѣдовательно, это прибавленіе назначено въ особенности физику и содержитъ доказательства моихъ предположеній. Такимъ способомъ изложенія, я надѣюсь удовлетворить цѣлямъ различныхъ читателей.

Правда, что истинное пониманіе будетъ доступно только тому, кто себѣ дастъ трудъ ознакомиться собственнымъ наблюденіемъ по крайней мѣрѣ съ основными явленіями, о которыхъ идетъ рѣчь въ слѣдующемъ изслѣдованіи. Къ счастью, ознакомиться съ верхними гар-

моническими тонами, съ комбинаціонными тонами, съ дрожаніями и т. д. не очень трудно помощью обыкновенныхъ музыкальныхъ инструментовъ. Собственное впечатлѣніе имѣетъ больше значенія самаго точнаго описанія, въ особенности же гдѣ дѣло идетъ, какъ здѣсь, объ анализѣ чувственныхъ ощущеній, которыя довольно плохо понимаются тѣмъ, кто ихъ не испытывалъ самъ.

Надѣюсь, что, при этой, выходящей немного изъ ряда обыкновеннаго, моей попыткѣ включить часть естественной науки въ теорію искусствъ, я должнымъ образомъ отдѣлилъ то, что принадлежитъ физіологіи и что принадлежитъ эстетикѣ; однако я едва ли отъ себя могу скрыть, что мои изслѣдованія хотя и относятся только до нижайшей области музыкальной грамматики, но быть можетъ покажутся слишкомъ механическими и противорѣчащими достоинству искусства тѣмъ теоретикамъ, которые привыкли, для научнаго подтвержденія ихъ основныхъ положеній, приводить восторженныя состоянія настроеній духа, вызываемыя высшимъ содѣйствіемъ искусства. Противъ этого я только имъ еще замѣчу, что въ нижеслѣдующемъ изслѣдованіи дѣло идетъ въ сущности только объ анализѣ фактически подтвержденныхъ чувственныхъ ощущеній, что физическіе методы наблюденія, которые сюда присоединяются, должны служить только къ тому, чтобы облегчить дѣло этого изслѣдованія, упрочить и контролировать его полноту, и что этотъ анализъ чувственныхъ ощущеній былъ бы достаточенъ для того, чтобы дать конечные результаты музыкальной теоріи даже безъ ссылки на физіологическую гипотезу о механизмѣ слуха, о которой я уже упомянулъ и которую я не хотѣлъ оставить безъ вниманія, потому что она способна установить въ весьма разнообразныхъ и очень сложныхъ явленіяхъ этой области знанія необыкновенно простую взаимную связь.

ГЛАВА I.

Объ ощущеніи Звука вообще.

Чувственныя ощущенія доходятъ до насъ въ томъ случаѣ, когда внѣшнія возбуждающія причины дѣйствуютъ на чувствующіе нервные аппараты нашего тѣла и приводятъ ихъ въ возбужденное состояніе. Родъ ощущенія различенъ; онъ зависитъ частью отъ принимаемаго во вниманіе органа чувствъ, частью отъ рода дѣйствующаго возбужденія. Каждый органъ чувствъ передаетъ своеобразныя ощущенія, которыя не могутъ быть возбуждены посредствомъ никакого другаго органа; глазомъ передается ощущеніе свѣта, ухомъ-Звука, кожею—осязанія. Если тѣже самые лучи солнца, которые возбуждаютъ въ глазѣ ощущеніе свѣта, попадутъ на кожу и возбудятъ ея нервы, то будутъ ощущаемы здѣсь только какъ тепло, а не свѣтъ; точно также и сотрясенія упругихъ тѣлъ, слышимыя ухомъ, могутъ быть также ощущаемы кожею, но не въ качествѣ Звука, а какъ нѣчто дрожащее. Слѣдовательно ощущеніе Звука есть особенный свойственный уху родъ реакціи, отвѣчающій внѣшней раздражающей причинѣ; оно не можетъ быть воспроизведено ни въ какомъ другомъ органѣ и поэтому отличается отъ всѣхъ остальныхъ чувствъ.

Такъ какъ мы положили себѣ задачею изучать законы слуховыхъ ощущеній, то нашимъ первымъ дѣломъ будетъ изслѣдовать, сколько различныхъ родовъ ощущеній можетъ обнаружить наше ухо и какія различія внѣшней возбуждающей причины, именно Звука, отвѣчаютъ этимъ различіямъ ощущенія.

Первое и главное отличіе различнаго Звука (Schall), которое схватываетъ наше ухо, есть различіе между шумами и музыкальными звуками (musikalische Klänge). Вѣяніе, завываніе и свистъ вѣтра, плескъ воды, шумъ ѣдущаго по мостовой экипажа суть примѣры перваго рода Звука, тогда какъ звуки всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ суть примѣры втораго рода. Правда, что шумы и звуки могутъ въ разнообразно измѣняющихся отношеніяхъ смѣшиваться и пере-

ходитъ другъ въ друга посредствомъ послѣдовательныхъ ступеней; но въ крайнихъ предѣлахъ они рѣзко между собою разграничены.

Чтобы постигнуть сущность различія между звуками и шумами, достаточно, въ большей части случаевъ, внимательнаго наблюденія однимъ лишь ухомъ, безъ всякой нужды въ помощи постороннихъ искусственныхъ средствъ. Вообще именно оказывается, что во время шума происходитъ быстрая мѣна разнообразныхъ звуковыхъ ощущеній. Вспомнимъ хоть шумъ ѣдущаго по мостовой экипажа, шумъ и плескъ водопада или морскихъ волнъ, или же хоть шелестъ листьевъ; здѣсь мы имѣемъ всюду быструю и неправильную, но явственно распознаваемую мѣну порывистыхъ, мерцающихъ разнообразныхъ звуковъ. При завываніи же вѣтра мѣна происходитъ медленно; звукъ тихо и плавно повышается, а потомъ снова понижается. Въ большей же части другихъ шумовъ, раздѣленіе разнообразныхъ порывисто-мѣняющихся другъ за другомъ звуковъ удается болѣе или менѣе хорошо; впослѣдствіи мы узнаемъ вспомогательное средство резонаторы, при помощи которыхъ это различеніе значительно облегчается уху. Напротивъ, музыкальный звукъ представляется уху какъ звукъ длящійся, пока онъ существуетъ, вполнѣ покойно равномѣрно и неизмѣнно; въ немъ нельзя различить мѣны разнообразныхъ составныхъ частей. Слѣдовательно, ему отвѣчаетъ простой и равномѣрный родъ ощущенія, тогда какъ при шумѣ неправильно смѣшаны и стѣснены другъ съ другомъ многія разнообразныя ощущенія звуковъ. На дѣлѣ можно сложить шумъ изъ музыкальныхъ звуковъ, если напр. одновременно ударить въ предѣлахъ одной или двухъ октавъ по всѣмъ клавишамъ фортепіано. Послѣ этого ясно, что музыкальные звуки составляютъ простѣйшіе и правильнѣйшіе элементы ощущеній слуха и что съ нихъ слѣдуетъ начать изученіе законовъ и особенностей этихъ ощущеній.

Теперь мы доходимъ до втораго вопроса, а именно: какое различіе въ наружной причинѣ возбужденія ощущеній слуха обусловливаетъ различіе между шумомъ и звукомъ. Нормальная и обыкновенная, возбуждающая человѣческое ухо, причина есть сотрясеніе окружающей насъ массы воздуха. Неправильно мѣняющееся ощущеніе уха при шумѣ заставляетъ насъ заключить, что при немъ и сотрясеніе воздуха должно быть также неправильно мѣняющимся родомъ движенія, и что напротивъ въ основаніи музыкальныхъ звуковъ лежитъ правильное, равномѣрнымъ образомъ повторяющееся движеніе воздуха, которое въ свою очередь должно быть возбуждено посредствомъ такого же правильнаго движенія, разсматриваемаго звучащаго тѣла, коего сотрясенія передаются воздухомъ уху.

Родъ такихъ правильныхъ, передающихъ музыкальный звукъ движе-

ній достаточно изученъ физическими изслѣдованіями; это суть **колебанія**, т. е. прямыя и обратныя движенія звучащихъ тѣлъ, которыя должны быть правильно **періодичны**. Подъ періодическимъ движеніемъ мы понимаемъ такое, которое одинаково повторяется въ совершенно одинаковые промежутки времени. Длину равныхъ промежутковъ времени, истекающихъ между двумя послѣдовательными повтореніями равнаго движенія, мы называемъ **продолжительностью колебанія**, или **періодомъ движенія**. Какого рода движеніе колеблющагося тѣла въ продолженіе одного періода, — это все равно. Для того, чтобы пояснить по извѣстнымъ примѣрамъ идею періодическаго движенія, я укажу на движеніе часоваго маятника, на движеніе камня, прикрѣпленнаго къ концу веревки, которому сообщаютъ вращеніе постоянной скорости, на движеніе молота, равномѣрно подымающагося и опускающагося колеснымъ механизмомъ водяной мельницы; всѣ эти движенія, въ какихъ бы разнообразныхъ видахъ они намъ не представлялись, въ вышеупомянутомъ смыслѣ періодичны. Продолжительность ихъ періода, достигающая по большей части въ этихъ случаяхъ одной или нѣсколькихъ секундъ, будучи сравниваема съ гораздо меньшими періодами звучащихъ колебаній, въ которыхъ для самыхъ низкихъ тоновъ насчитывается по крайней мѣрѣ до 30-ти въ секунду и число которыхъ можетъ возрасти до многихъ тысячъ, относительно весьма продолжительна.

Согласно нашему опредѣленію періодическаго движенія, мы можемъ отвѣтить слѣдующимъ образомъ на предложенный выше вопросъ: **ощущеніе звука получается посредствомъ быстрыхъ періодическихъ движеній звучащихъ тѣлъ, а ощущеніе шума происходитъ отъ движеній непеpіодическихъ.**

Звучащія колебанія твердыхъ тѣлъ мы можемъ очень часто распознать простымъ глазомъ; если колебанія слѣдовали бы даже слишкомъ быстро, такъ что невозможно было бы за каждымъ изъ нихъ слѣдить глазами въ отдѣльности, то всё-таки можно легко замѣтить на звучащей струнѣ, или камертонѣ, или на язычкѣ язычковой трубки, что всѣ эти предметы находятся въ быстромъ прямомъ и обратномъ движеніи между двумя предѣльными положеніями, а правильная и повидимому неподвижная фигура, какою представляется нашему глазу, не смотря на свое движеніе, таковое колеблющееся тѣло, заставляетъ насъ заключить о равномѣрости его прямыхъ и обратныхъ движеній. Въ другихъ случаяхъ, колебательное движеніе твердыхъ тѣлъ мы можемъ чувствовать посредствомъ осязанія; такъ напр. музыкантъ, играя на кларнетѣ, гобоѣ или фаготѣ, чувствуетъ колебанія язычковъ кларнета, гобоя или фагота, или же колебанія своихъ собственныхъ губъ въ мундштукѣ трубы или тромбона.

Сотрясенія, происходящія отъ звучащихъ тѣлъ, передаются вообще нашему уху чрезъ посредство воздуха; для того чтобы воспроизвести въ нашемъ ухѣ ощущеніе музыкальнаго звука, частицы воздуха должны также совершать правильные и періодически повторяющіяся колебанія; на дѣлѣ это такъ и случается, хотя изъ ежедневнаго опыта Звукъ намъ представляется какъ нѣчто постоянно подвигающееся впередъ въ атмосферѣ, распространяясь все далѣе и далѣе. Однако здѣсь мы должны различить движеніе отдѣльныхъ частицъ воздуха, которыя періодичны и въ прямомъ и обратномъ движеніи въ тѣсныхъ предѣлахъ, отъ распространенія сотрясенія Звука; это послѣднее слѣдуетъ постоянно впередъ, при чемъ все новыя и новыя частицы воздуха достигаются кругомъ сотрясенія.

Это составляетъ особенность всѣхъ такъ называемыхъ волнообразныхъ движеній. Вообразимъ себѣ камень, брошенный на совершенно спокойную поверхность воды; вокругъ сотрясенной точки этой поверхности тотчасъ же образуется маленькая кольцевидная волна, которая, распространяясь равномѣрно по всѣмъ направленіямъ постоянно расширяется все въ большій и большій кругъ. Соотвѣтственно этой кольцевидной волнѣ, Звукъ исходитъ изъ сотрясенной въ воздухѣ точки и распространяется по всѣмъ направленіямъ на столько, на сколько это позволяютъ предѣлы массы воздуха. Процессъ въ воздухѣ въ сущности совершенно такой же, какъ и на поверхности воды; главное различіе заключается только въ томъ, что Звукъ распространяется во всѣ стороны въ обширной воздушной средѣ сфероидально, тогда какъ волны на поверхности воды могутъ распространяться только кольцеобразно. Волновымъ возвышеніямъ водяныхъ волнъ соотвѣтствуютъ сгущенные слои воздуха, а волновымъ углубленіямъ—разрѣженные. На свободной поверхности воды, тамъ, гдѣ масса должна была бы стѣсниться, она можетъ подаваться вверхъ и составить такимъ образомъ возвышенія. Такъ какъ въ воздушной средѣ она не можетъ такъ подаваться, то она должна сгущаться.

Слѣдовательно водяныя волны двигаются постоянно впередъ, не возвращаясь назадъ; однако не слѣдуетъ думать, что водяныя частицы, изъ коихъ составлены волны, имѣютъ такое же поступательное движеніе, какъ и самыя волны. Мы можемъ сдѣлать легко видимыми движенія водяныхъ частицъ вдоль поверхности воды, бросивъ на нее щепку; она будетъ вполнѣ слѣдовать движенію сосѣднихъ частицъ; она не будетъ увлечена движеніемъ волнъ, но будетъ только колыхаться и въ итогѣ останется на томъ же мѣстѣ, на которомъ находилась первоначально. Сказанное о щепкѣ относится и до сосѣднихъ частицъ воды; если ихъ настигаетъ кольцевидная волна, то онѣ приводятся въ колебаніе, когда же она ихъ минуетъ, онѣ снова возвращаются въ прежнее положеніе и остаются въ покоѣ въ то время какъ кольцевидная волна переходитъ все къ новымъ мѣстамъ поверхности воды и приводитъ ихъ въ движеніе. Слѣдовательно волны, которыя передвигаются на поверхности воды все далѣе и далѣе, воздвигаются изъ новыхъ частицъ, такъ что то, что переносится въ видѣ измѣняющейся поверхности воды, какъ волна, составляетъ одно лишь сотрясеніе, тогда какъ отдѣльныя частицы воды двигаются прямо и обратно, временно колеблясь одновременно съ проходомъ волны, но никогда далеко не удаляются отъ своего первоначальнаго положенія.

Тоже самое обнаруживается еще болѣе ясно въ волнахъ веревки или цѣпи. Возьмемъ гибкую нить въ нѣсколько футовъ длины, или тонкую металлическую цѣпь; будемъ держать ее за одинъ конецъ, а другой оставимъ висящимъ, такъ что нить будетъ натянута вліяніемъ своей собственной тяжести. Теперь подвинемъ быстро держащую ее руку немного въ сторону и снова обратно, тогда изгибъ, который мы воспроизвели движеніемъ руки въ верхнемъ концѣ нити, пробѣжитъ по ней въ видѣ волны, такъ что будутъ изгибаться въ сторону все болѣе и болѣе низкія части нити, тогда какъ верхнія части снова переходятъ въ прежнее состояніе покоя; однако ясно, что въ то время, какъ волна спускается внизъ, каждая отдѣльная часть нити можетъ только колебаться горизонтально прямо и обратно и отнюдь не раздѣляетъ поступательнаго движенія волны.

Такой опытъ удается еще лучше на длинной, упругой и слабо натянутой нити, напр. на толстомъ каучуковомъ шнурѣ, или на спиральной мѣдной пружинѣ отъ 8 до 12 футовъ длины, одинъ изъ концовъ которой прикрѣпленъ, между тѣмъ какъ другой держатъ рукою. Рука можетъ тутъ легко возбудить волны, которыя весьма правильно перебѣгаютъ къ другому концу нити; тамъ онѣ отражаются и снова возвращаются обратно. Здѣсь также ясно, что не частица самаго шнура перебѣгаетъ взадъ и впередъ, но что движущуюся волну составляютъ все новыя и новыя его частицы. Изъ этихъ примѣровъ читатель можетъ себѣ составить понятіе о такомъ родѣ движенія, каково движеніе Звука, гдѣ матеріальныя частицы движущагося тѣла совершаютъ только періодическія движенія, тогда какъ само сотрясеніе постоянно подается впередъ.

Возвратимся къ водяной поверхности. Мы предположили, что одна изъ ея точекъ, при паденіи на нее брошеннаго камня, была сотрясена. Сотрясеніе это распространилось по поверхности воды въ видѣ кольцевидной волны, достигло плавающей щепки и привело ее въ колыханіе; слѣдовательно, сотрясеніе, произведенное камнемъ на одной изъ точекъ поверхности воды, передано щепкѣ, находившейся на другой точкѣ той же поверхности воды, посредствомъ волнъ. Совер-

шенно подобнаго же рода явленіе, происходящее въ окружающей насъ воздушной средѣ. Вмѣсто камня пользуются звучащимъ тѣломъ, сотрясающимъ воздухъ, вмѣсто щепки—человѣческимъ ухомъ, въ которое ударяютъ сотрясающія воздухъ волны и приводятъ въ движеніе подвижныя части уха.

Воздушныя волны, которыя исходятъ изъ звучащаго тѣла, передаютъ сотрясенія человѣческому уху точно также, какъ вода ихъ переноситъ отъ камня къ плавающему тѣлу.

Послѣ этого станетъ безъ затрудненія очевиднымъ, какимъ образомъ тѣло, находящееся въ періодическомъ колебаніи, должно также привести въ періодическое движеніе воздушныя частицы. Падающій въ воду камень передаетъ ея поверхности только одинъ отдѣльный толчокъ. Представимъ же теперь себѣ вмѣсто камня правильный рядъ капель, падающихъ на поверхность воды изъ сосуда съ узкимъ отверстіемъ; каждая капля произведетъ кольцевидную волну, каждая кольцевидная волна пробѣжитъ по водяной поверхности точно также, какъ ему предшествующая, и такимъ же образомъ, какъ вторая волна слѣдовала за первою,—въ такомъ же порядкѣ будутъ за нею слѣдовать и послѣдующія. Такимъ образомъ составится и распространится на поверхности воды правильный рядъ концентрическихъ круговъ; сколько въ секунду будетъ падать въ воду капель, столько же волнъ будетъ настигать въ секунду нашу плавающую щепку, и столько же разъ она будетъ приподнята и опущена, т. е. исполнитъ періодическое движеніе, коего періодъ равенъ промежуткамъ времени, въ которые падаютъ капли. Точно такимъ же образомъ періодически движущееся звучащее тѣло воспроизводитъ подобное же періодическое движеніе сначала массы воздуха, а затѣмъ находящейся въ нашемъ ухѣ барабанной перепонки, коей продолжительность колебанія должна быть равна продолжительности колебанія звучащаго тѣла.

Оговоривъ первое и главное подраздѣленіе Звука на шумы и звуки и описавъ вообще движенія воздуха, соотвѣтствующія звукамъ, мы обратимся къ тѣмъ отличительнымъ особенностямъ, которыми въ свою очередь различаются другъ отъ друга звуки. Мы находимъ три различія звуковъ, если первоначально обратимъ вниманіе только на такіе звуки, которые воспроизводятся въ отдѣльности нашими обыкновенными музыкальными инструментами, за исключеніемъ звуковыхъ сочетаній различныхъ инструментовъ. Именно звуки могутъ различаться ихъ:

1) Силою.
2) Высотою.
3) Оттѣнкомъ.

Что мы понимаемъ подъ силою и высотою тона,—мнѣ объяснять не нужно.

Подъ оттѣнкомъ звука (Klangfarbe) мы понимаемъ ту особенность, которою отличается звукъ скрипки отъ звука флейты, кларнета или человѣческаго голоса, если всѣ они издаютъ ту же ноту, въ той же высотѣ тона.

Теперь намъ предстоитъ объяснить, какія отличительныя особенности Звуковаго движенія отвѣчаютъ этимъ тремъ главнымъ различіямъ звука. Что касается силы звуковъ, то легко замѣтить, что она возрастаетъ или уменьшается съ амплитудою колебаній звучащаго тѣла. Если мы ударяемъ струну, то ея колебанія вначалѣ достаточно значительны для того, чтобы намъ ихъ видѣть; соотвѣтственно этому и ея тонъ вначалѣ самый сильный. Затѣмъ видимыя колебанія становятся все меньше и меньше; въ той же мѣрѣ убываетъ и сила тона. Тоже самое наблюденіе мы можемъ сдѣлать надъ струнами смычковыхъ инструментовъ, надъ язычками язычковыхъ трубокъ и на многихъ другихъ звучащихъ тѣлахъ. Таковое же заключеніе мы должны вывести изъ того факта, что на открытомъ воздухѣ сила звука уменьшается, когда мы удаляемся отъ звучащаго тѣла, тогда какъ ни высота, ни оттѣнокъ звука не измѣняются. Однако въ отдаленіи, въ Звуковыхъ волнахъ измѣняется одна лишь амплитуда колебаній отдѣльныхъ частицъ воздуха. Слѣдовательно, отъ нея должна зависѣть сила Звука, а никакое либо другое его качество *).

Второе существенное отличіе различныхъ звуковъ заключается въ ихъ высотѣ. Мы уже знаемъ, изъ ежедневнаго опыта, что тоны одинаковой высоты могутъ быть извлечены изъ различнѣйшихъ инструментовъ посредствомъ различнѣйшихъ механическихъ процессовъ и въ различной силѣ. Движенія воздуха, которыя при этомъ воспроизводятся, должны быть всѣ періодичны, иначе они не возбудятъ въ нашемъ ухѣ ощущенія музыкальнаго звука. Движеніе это въ предѣлахъ каждаго его отдѣльнаго періода, можетъ быть какого угодно рода; если только продолжительность періода двухъ звуковъ одинаково велика, то они будутъ имѣть одинаковую высоту. И такъ, высота тона зависитъ только отъ продолжительности колебанія, или что тоже самое, отъ числа колебаній. За единицу времени мы принимаемъ обыкновенно секунду и поэтому подъ числомъ колебаній понимаемъ

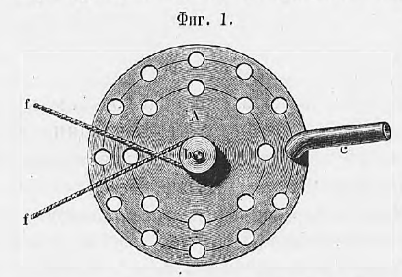
*) Съ точки зрѣнія механики, сила колебаній для тоновъ различныхъ высотъ можетъ измѣряться ея живою силою, т. е. квадратомъ наибольшей скорости, которую достигаютъ колеблющіяся частицы. Но органъ слуха имѣетъ различную чувствительность для тоновъ различныхъ высотъ, такъ что вслѣдствіе этого не можетъ быть получена мѣра силы ощущенія, дѣйствительная для различныхъ высотъ.

личество колебаній, дѣлаемыхъ звучащимъ тѣломъ въ секунду времени. Само собою разумѣется, что мы найдемъ продолжительность колебанія, раздѣливъ секунду на число колебаній. Звуки тѣмъ выше, чѣмъ число ихъ колебаній больше или чѣмъ продолжительность ихъ колебаній меньше.

Опредѣлить точно число колебаній такихъ упругихъ тѣлъ, которыя производятъ слышимые звуки, довольно трудно; поэтому-то, чтобы имѣть возможность рѣшить этотъ вопросъ для каждаго отдѣльнаго случая, физики должны были прибѣгнуть къ многочисленнымъ относительно сложнымъ пріемамъ; для достиженія этого результата математическій анализъ и разнообразные опыты должны были взаимно помогать другъ другу. Поэтому, для изложенія существенныхъ основаній въ этой области, весьма удобно примѣнить особый звуковой аппаратъ, называемый сиреною, который своею конструкціею дѣлаетъ возможнымъ непосредственное опредѣленіе числа воздушныхъ колебаній, возбудившихъ тонъ. На фиг. 1 изображена простѣйшая форма сирены конструкціи Зеебека (Seebeck) въ главныхъ ея частяхъ и въ простѣйшей ея формѣ.

A тонкій картонный или жестяной кружекъ, который можно быстро вращать около центральной оси *b* помощью шнура *ff*, огибающаго также колесо. Вдоль края подвижнаго кружка сдѣланъ рядъ отверстій въ равныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ; на рисункѣ ихъ 12; одинъ или нѣсколько другихъ рядовъ равноотстоящихъ отверстій расположены по другимъ концентрическимъ окружностямъ, (на фиг. 1 таковой рядъ имѣетъ 8 отверстій); *c* — трубочка, которую обращаютъ противъ одного изъ отверстій. Если быстро вращать кружекъ и дуть въ трубочку *c*, то воздухъ будетъ имѣть свободный выходъ каждый разъ, какъ одно изъ отверстій кружка пройдетъ подъ отверстіемъ трубочки, тогда какъ выходъ воздуха будетъ задержанъ каждый разъ, какъ противъ отверстія трубочки будетъ находиться непросверленная часть кружка. Вслѣдствіе этого каждое отдѣльное отверстіе кружка, проходящее у отверстія трубочки, даетъ выходъ отдѣльному толчку воздуха. Если кружекъ будетъ повернутъ одинъ разъ и если трубочка будетъ обращена противъ внѣшней окружности, то мы получимъ 12 воздушныхъ толчковъ, соотвѣтствующихъ 12 отверстіямъ кружка; напротивъ, если трубочка обращена противъ

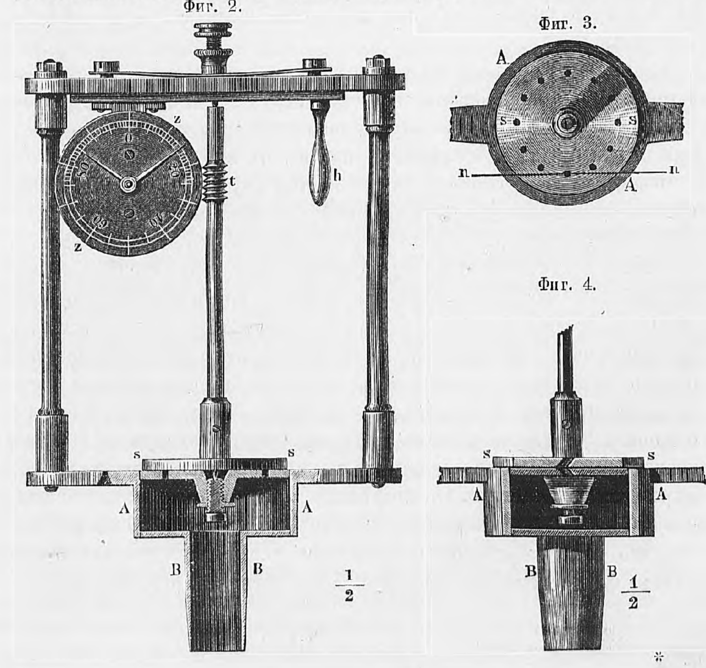
Фиг. 1.



внутренней окружности, то получится только восемь толчковъ. Если мы сообщимъ кружку десять оборотовъ въ секунду, то внѣшняя окружность отверстій дастъ намъ при вдуваніи сто двадцать воздушныхъ толчковъ въ секунду, которые проявятся въ качествѣ низкаго и слабаго тона; внутренняя же окружность дастъ въ тоже время только восемьдесятъ воздушныхъ толчковъ. Вообще, если мы знаемъ число оборотовъ кружка въ секунду и число вдуваемаго ряда отверстій, то произведеніе этихъ чиселъ дастъ намъ очевидно число воздушныхъ толчковъ. Слѣдовательно это число можетъ быть получено точно и гораздо легче этого рода приборомъ, чѣмъ всякимъ другимъ звуковымъ аппаратомъ; поэтому-то сирены такъ превосходно и удовлетворяютъ изученію всѣхъ тѣхъ измѣненій тона, которыя зависятъ отъ измѣненій и соотношеній чиселъ колебаній.

Описанный здѣсь видъ сирены даетъ только слабые тоны; я о ней прежде всего упомянулъ потому, что родъ ея дѣйствія понять всего легче; при перемѣнѣ кружковъ она можетъ быть также легко приспособлена къ весьма разнообразнымъ опытамъ. Сирена Каньяръ-Латура (Cagnard la Tour), изображенная на фиг. 2, 3 и 4, даетъ болѣе сильный тонъ. *SS*—вращающійся кружекъ, видимый на фиг. 3

Фиг. 2. Фиг. 3. Фиг. 4.



сверху, а на фиг. 2 и 4 съ боку. Кружекъ помѣщается надъ коробкою A, которая трубкою B можетъ быть соединена съ мѣхами. Крышка коробки—A, лежащая непосредственно подъ вращающимся кружкомъ, имѣетъ съ нимъ одинаковое число отверстій; а направленіе канальцевъ въ крышкѣ коробки и въ кружкѣ такъ сопоставлено другъ къ другу, какъ это показано на фиг. 4; (фиг. 4 изображаетъ разрѣзъ прибора по направленію линіи mn, показанной на фиг. 3-й). Это расположеніе отверстій содѣйствуетъ тому, что вырывающійся изъ нихъ воздухъ самъ приводитъ кружекъ SS въ вращательное движеніе, при чемъ сильнымъ вдуваніемъ можно достичь отъ 50 до 60 оборотовъ въ секунду. Такъ какъ всѣ отверстія этой сирены вдуваются одновременно, то получаютъ гораздо сильнѣйшій тонъ, чѣмъ сиреною Зеебека. Для отсчитыванія числа оборотовъ служитъ счётчикъ, въ которомъ находится зубчатое колесо, захватывающее своими зубцами винтъ t и подвигающееся при каждомъ оборотѣ кружка SS на одинъ зубецъ. Рукояткою h, можно чуть-чуть передвигать счётчикъ zz, такъ что онъ будетъ по нашему желанію захватывать или не захватывать винтъ t. Если при секундномъ ударѣ ихъ соединить и затѣмъ при одномъ изъ слѣдующихъ ударовъ разъединить, то стрѣлки покажутъ сколько кружекъ въ отсчитанныя секунды, сдѣлалъ оборотовъ *).

Дове (Dove) придалъ этой сиренѣ нѣсколько рядовъ отверстій въ которыя можно по произволу впускать воздухъ, или же его задерживать. Такая многоголосная сирена еще съ другими особыми приспособленіями будетъ изображена и описана въ восьмой главѣ.

Покамѣстъ ясно, что если просверленный кружекъ одной изъ этихъ сиренъ будетъ вращаться съ равномѣрною скоростью, при чемъ воздухъ будетъ выходить толчками изъ отверстій, то вызванное этимъ движеніе воздуха будетъ періодическое въ томъ смыслѣ, какъ мы употребляли это слово. Отверстія имѣютъ другъ отъ друга одинаковыя разстоянія, а потому будутъ слѣдовать другъ за другомъ въ равные промежутки времени. Черезъ каждое отверстіе часть воздуха будетъ вырываться одинаковымъ образомъ въ окружающую насъ воздушную среду и произведетъ въ немъ волны, которыя будутъ слѣдовать другъ за другомъ въ одинаковые промежутки времени точно также, какъ это производятъ, на поверхности воды, равномѣрно падающія капли. Въ предѣлахъ каждаго отдѣльнаго періода, каждый отдѣльный воздушный толчекъ можетъ быть довольно различнаго вида въ сиренахъ различнаго устройства, смотря потому будутъ ли отверстія уже или шире, ближе другъ къ другу или дальше

*) Смотри Приложеніе I.

и смотря потому, какой формы отверстіе трубки; но, во всякомъ случаѣ, пока скорость вращенія и положеніе трубки будутъ оставлены безъ перемѣны, совокупные воздушные толчки изъ отверстій того же ряда дадутъ правильно—періодическое движеніе воздуха, и поэтому должны возбудить въ ухѣ ощущеніе музыкальнаго звука, что въ самомъ дѣлѣ и бываетъ.

При опытахъ съ сиреною легко узнается, что два ряда одинаковаго числа отверстій, обращаемые съ одинаковою скоростью, производятъ звукъ одинаковой высоты, какова бы ни была величина и форма отверстій и трубочки, и что мы получимъ тотъ же тонъ даже и тогда, когда при вращеніи кружка заставимъ ударять въ отверстія штифтъ вмѣсто того, чтобы въ нихъ вдувать. Отсюда непосредственно слѣдуетъ, что высота музыкальнаго звука зависитъ только отъ числа воздушныхъ толчковъ или колебаній, а не отъ ихъ формы, силы или рода возбужденія. Далѣе, при опытахъ этимъ приборомъ легко видѣть, что высота тона возрастаетъ, если мы увеличимъ скорость вращенія кружка, съ чѣмъ естественно увеличивается и число воздушныхъ толчковъ. Тоже самое произойдетъ и въ томъ случаѣ, если при постоянной скорости вращенія кружка, станемъ вдувать воздухъ сперва въ рядъ небольшаго числа отверстій, а потомъ въ другой—бо́льшаго числа отверстій. Послѣдній дастъ болѣе высокій тонъ.

Этимъ же приборомъ весьма легко находится то замѣчательное соотношеніе, которое имѣютъ числа колебаній двухъ тоновъ, составляющихъ между собою консонирующій интервалъ. На одномъ кружкѣ дѣлаютъ одинъ рядъ въ 8 и другой въ 16 отверстій и вдуваютъ въ нихъ непрерывно воздухъ, въ то время какъ скорость вращенія кружка постоянно сохраняютъ неизмѣнною; тогда услышатъ два тона, которые будутъ находиться между собою совершенно точно въ соотношеніи октавы. Если увеличить скорость вращенія кружка, то оба тона повысятся; но и въ своемъ новомъ положеніи они составятъ между собою октаву. Изъ этого мы заключаемъ, что *тонъ, будучи октавою выше другаго, исполняетъ въ тоже самое время ровно вдвое болѣе колебаній послѣдняго.*

Выше изображенный на фиг. 1 кружекъ имѣетъ два ряда, въ восемь и въ двѣнадцать отверстій. Если попеременно будемъ дуть въ оба ряда, то получимъ два тона, которые совокупно дадутъ въ точности вѣрную квинту, какова бы при этомъ ни была скорость вращенія кружка.

Отсюда слѣдуетъ, что *два тона находятся въ отношеніи квинты, если высшій тонъ дѣлаетъ три колебанія въ то же самое время, какъ низшій ихъ дѣлаетъ два.*

Если тонъ будетъ выдуваемъ изъ ряда въ восемь отверстій, то

для того, чтобы получить его октаву, мы употребимъ 16 отверстій, а для квинты, двѣнадцать отверстій. Слѣдовательно отношеніе квинты къ октавѣ 12 : 16 или 3 : 4; по интервалъ между квинтою и октавою образуетъ кварту, изъ чего слѣдуетъ, что два тона составляютъ между собою кварту, если высшій воспроизводитъ четыре колебанія въ то самое время, какъ низшій ихъ дѣлаетъ три.

Многоголосная сирена Дове (Dove) имѣетъ обыкновенно четыре ряда въ 8, 10, 12 и 16 отверстій. Рядъ въ 16 отверстій даетъ октаву ряда въ 8 отверстій и кварту ряда въ 12 отверстій; рядъ въ 12 отверстій даетъ квинту ряда въ 8 отверстій и малую терцію ряда 10 отверстій; этотъ послѣдній даетъ большую терцію ряда 8 отверстій. Слѣдовательно, всѣ четыре ряда даютъ тоны мажорнаго аккорда.

Посредствомъ этихъ и подобныхъ имъ опытовъ получаются слѣдующія отношенія чиселъ колебаній:

1 : 2 для октавы
2 : 3 » квинты.
3 : 4 » кварты.
4 : 5 » большой терціи.
5 : 6 » малой терціи.

Если основной тонъ даннаго интервала переносятъ на октаву выше, то это называютъ **обращеніемъ интервала**. И такъ, кварта есть обращенная квинта, малая секста—обращенная большая терція, большая секста обращенная малая терція. Поэтому соотвѣтствующее имъ отношеніе колебаній получится чрезъ удвоеніе меньшаго изъ чиселъ первоначальнаго интервала.

Изъ отношенія 2 : 3 квинты, получится отношеніе 3 : 4 кварты.
» » 4 : 5 б. терціи, » » 5 : 8 малой сексты,
» » 5 : 6 м. терціи, » » 6 : 10 = 3 : 5 б. сексты.

Вотъ всѣ консонирующіе интервалы, заключающіеся въ предѣлахъ октавы. Ихъ отношенія колебаній выражены всѣ цѣлыми числами отъ 1 до 6, за исключеніемъ малой сексты, которая въ дѣйствительности составляетъ между названными интервалами самый несовершенный консонансъ.

И такъ, помощью относительно простыхъ и легкихъ опытовъ, производимыхъ сиренами, подтверждается тотъ замѣчательный законъ, о которомъ мы уже упомянули въ введеніи и по которому числа колебаній консонирующихъ тоновъ находятся въ отношеніяхъ малыхъ цѣлыхъ чиселъ. Въ послѣдующихъ нашихъ изслѣдованіяхъ мы воспользуемся тѣмъ же приборомъ для болѣе строгаго доказательства точности и неизмѣнности этого закона.

Значительно прежде того, что что-либо узнали о числахъ колебаній и ихъ измѣреніи, Пиѳагоръ открылъ, что если хотятъ раздѣлить струну подставкою такъ, чтобы обѣ ея части образовали консонирующіе интервалы, то она должна быть раздѣлена пропорціонально вышеупомянутымъ цѣлымъ числамъ. Если установить подставку такъ, чтобы часть струны, по ея правую сторону, имѣла $^2/_3$ длины, а по лѣвую только $^1/_3$, то обѣ части будутъ находиться между собою въ отношеніи 2 : 1 и дадутъ интервалъ октавы; длиннѣйшая часть струны будетъ соотвѣтствовать нижайшему тону. Если же установить подставку такъ, чтобы находящаяся отъ нея часть струны вправо равнялась $^3/_5$, а влѣво $^2/_5$ всей длины струны, то отношеніе этихъ частей 3 : 2, и тоны составятъ квинту.

Эти измѣренія уже были сдѣланы греческими музыкантами съ большою точностью и они основали на нихъ довольно удовлетворительную систему тоновъ. При этихъ измѣреніяхъ пользовались особымъ приборомъ — монохордомъ, въ которомъ, надъ усиливающимъ звукъ ящикомъ, была натянута только одна струна, подъ которою находился масштабъ для того, чтобы имѣть возможность установить точно подставку.

Уже значительно позже, благодаря изслѣдованіямъ Галилея (1638), Ньютона, Эйлера (1729) и Даніила Бернульи (1771), узнали законы движенія струнъ и открыли, что простыя отношенія длинъ существуютъ точно также для чиселъ колебаній тоновъ, т. е. составляютъ принадлежность интерваловъ всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ, а не однѣхъ лишь струнъ, на которыхъ первоначально былъ найденъ этотъ законъ.

Это отношеніе цѣлыхъ чиселъ къ музыкальнымъ консонансамъ казалось издавна удивительною, многозначущею загадкою. Уже пиѳагорейцы прилагали ее къ своимъ умозрѣніямъ относительно гармоніи сферъ. Съ этого времени она была частью цѣлью, частью исходною точкою удивительнѣйшихъ и смѣлыхъ фантастическихъ или философскихъ комбинацій до тѣхъ поръ, пока въ новѣйшее время большинство ученыхъ не присоединилось къ мнѣнію, выраженному Эйлеромъ, а именно, что человѣку особенно пріятны простыя отношенія, потому что онъ ихъ легче можетъ резюмировать и усвоить. Однако же надо было еще опредѣлить, какимъ образомъ слушатель, совершенно незнакомый съ физикою и который никогда себѣ не отдавалъ отчета о томъ, что тоны происходятъ отъ колебаній, можетъ узнавать и сравнивать отношенія чиселъ колебаній. Доказать явленія, которыя дѣлаютъ для уха чувствительнымъ различіе между консонансомъ и диссонансомъ, составитъ главную задачу второго отдѣла этой книги.

Вычисленіе чиселъ колебаній для всѣхъ тоновъ гаммы.

Посредствомъ выше данныхъ отношеній чиселъ колебаній для консонирующихъ интерваловъ, легко вычисляются интервалы всего протяженія гаммы, если мы будемъ по ней слѣдовать рядомъ консонирующихъ интерваловъ.

Мажорное тоническое трезвучіе состоитъ изъ тоники, большой терціи и квинты. Его отношенія суть:

$$C : E : G$$
$$1 : {}^5/_4 : {}^3/_2, \text{ или}$$
$$4 : 5 : 6.$$

Если мы къ этому трезвучію прибавимъ доминантное трезвучіе $G : H : D$, и субдоминантное $F : A : C$, имѣющія оба по одному общему тону съ тоническимъ, то мы получимъ всѣ тоны гаммы C Dur и слѣдующія отношенія:

$$C : D : E : F : G : A : H : C$$
$$1 : {}^9/_8 : {}^5/_4 : {}^4/_3 : {}^3/_2 : {}^5/_3 : {}^{15}/_8 : 2.$$

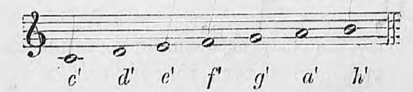
Для того, чтобы имѣть возможность продолжить это вычисленіе на другія октавы, мы сначала замѣтимъ, что нѣмецкіе музыканты обозначаютъ тоны высшихъ октавъ посредствомъ чертъ, какъ это слѣдуетъ ниже.

1. Безчертная (ungestrichene) или малая октава.

(Четырехъ-футовая октава органа).

c d e f g a h

2. Одночертная октава (двухъ-футовая).



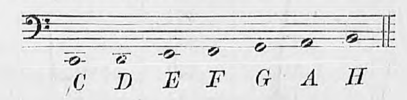
c' d' e' f' g' a' h'

3. Двучертная октава (одно-футовая).

c'' d'' e'' f'' g'' a'' h''

Обозначеніе идетъ далѣе вверхъ на основаніи того же принципа. Непосредственно ниже малой октавы находится, обозначаемая большими безчертными буквами, большая октава, коей тонъ C требуетъ открытую 8-ми-футовую органную трубку, отчего она и названа восьми-футовою.

4. Большая или восьми-футовая октава.



C D E F G A H

Непосредственно ниже ея слѣдуетъ 16-ти-футовая или контр-октава, самая нижняя у фортепіано и большей части органовъ, тоны которой мы обозначаемъ чрезъ C_1 D_1 E_1 F_1 G_1 A_1 H_1. Наконецъ, на большихъ органахъ находится еще одна, болѣе низкая, 32-хъ футовая октава отъ C_{11} до H_{11}, звуки которой едва сохраняютъ характеръ музыкальныхъ тоновъ.

Такъ какъ числа колебаній ближайшей высшей октавы всегда вдвое больше низшей, то находятъ числа колебаній высшихъ тоновъ, если числа малой безчертной октавы помножать столько разъ на 2, сколько имѣетъ чертъ верхній значекъ; напротивъ, числа колебаній низшихъ октавъ получатся, если числа колебаній большой октавы дѣлить столько разъ на 2, сколько чертъ имѣетъ нижній значекъ.

Такъ, $c'' = 2 \,.\, 2 \,.\, c = 2 \,.\, 2 \,.\, 2 \,.\, C.$

$$C_{11} = {}^1/_2 \,.\, {}^1/_2 \,.\, C = {}^1/_2 \,.\, {}^1/_2 \,.\, {}^1/_2 \,.\, c.$$

Для опредѣленія высоты тоновъ музыкальной скалы нѣмецкіе физики вообще придерживаются опредѣленію Шейблера (Scheibler), принятому въ 1834 г. на съѣздѣ нѣмецкихъ естествоиспытателей, по которому одночертное a' должно совершать 440 колебаній въ секунду *). Отсюда получается нижеслѣдующая таблица для гаммы C Dur, которая можетъ послужить для указанія высотъ такихъ тоновъ, которые, въ слѣдующихъ главахъ этой книги, будутъ опредѣлены ихъ числомъ колебаній.

---

*) Недавно парижская академія положила 435 колебаній для того же тона. По французскому способу a' должно имѣть 870 колебаній, потому что французскіе физики весьма непрактично обозначаютъ прямое и обратное движеніе колеблющагося тѣла какъ два колебанія: прямое движеніе какъ одно, обратное какъ другое.

Ноты.	Контр-октава. $C_1 - H_1$	Большая октава. $C - H$	Безчертная октава. $c - h$	Одночертная октава. $c' - h'$	Двучертная октава. $c'' - h''$	Трехчертная октава. $c''' - h'''$	Четырехчертная октава. $c'''' - h''''$
C	33	66	132	264	528	1056	2112.
D	37,125	74,25	148,5	297	594	1188	2376
E	41,25	82,5	165	330	660	1320	2640
F	44	88	176	352	704	1408	2816
G	49,5	99	198	396	792	1584	3168
A	55	110	220	440	880	1760	3520
H	61,875	123,75	247,5	495	990	1980	3960.

Нижайшій тонъ оркестровыхъ инструментовъ есть E_1 контрабаса съ $41\frac{1}{4}$ колебаній. Новѣйшіе фортепіано и органы доходятъ обыкновенно до C_1 съ 33 колебаніями, новѣйшіе рояли даже до A_{11} съ $27\frac{1}{2}$ колебаніями. Въ большихъ органахъ, какъ это уже было упомянуто, имѣется еще болѣе низкая октава до C_{11}, съ $16\frac{1}{2}$ колебаніями въ секунду. Но музыкальный характеръ всѣхъ этихъ тоновъ, которые ниже E_1, неполный, потому что тутъ мы приближаемся къ тому предѣлу, гдѣ прекращается способность уха связывать колебанія въ одинъ тонъ. Поэтому эти нижайшіе тоны могутъ употребляться въ музыкѣ только въ соединеніи съ ихъ высшими октавами, отчего послѣднія получаютъ характеръ большей полноты, а воспринятіе высоты тона не становится неопредѣленнымъ.

Фортепіано доходитъ вверхъ обыкновенно до a^{iv}, или даже до c^{v} отъ 3520 до 4224 колебаній. Самымъ высокимъ тономъ въ оркестрѣ можно считать пятичертное d^{v} маленькой флейты (flauto piccolo), имѣющее 4752 колебанія. Депрэ (Despretz) говоритъ, что помощью маленькихъ камертоновъ, приводимыхъ въ сотрясеніе смычкомъ, можно дойти до восьмичертнаго d^{viii}, которому бы соотвѣтствовало 38,016 колебаній. Эти высокіе тоны были болѣзненно непріятны, а степень различимости ихъ высоты, какъ и у всѣхъ тоновъ, переходящихъ границу музыкальной скалы, весьма несовершенна. Объ этомъ будетъ сказано болѣе въ девятой главѣ.

Слѣдовательно, удовлетворительные для музыкальнаго употребленія и съ явственно воспринимаемою высотою тоны, лежатъ между 40 и 4000 колебаніями, обнимающими протяженіе 7-ми октавъ; тоны же, которые вообще могутъ быть ощущаемы, заключаются, приблизительно, между 20 и 38000 колебаніями, почти на протяженіи 11-ти октавъ. Отсюда видно, на какомъ большомъ протяженіи ухо можетъ ощущать и различать различныя величины чиселъ колебаній. Въ

этомъ отношеніи ухо значительно превосходитъ глазъ, различающій также свѣтовыя колебанія различной продолжительности, какъ разницу цвѣтовъ, такъ какъ область чувствительныхъ для глаза свѣтовыхъ колебаній превосходитъ только немногимъ октаву.

Сила и высота были двумя первыми отличіями, которыя мы нашли между различными звуками; третьимъ отличіемъ былъ оттѣнокъ звука, къ изученію котораго мы теперь и приступаемъ. Если слышать одну и ту же ноту послѣдовательно воспроизведенною фортепіано, скрипкою, кларнетомъ, гобоемъ, трубою и человѣческимъ голосомъ, то звукъ всѣхъ этихъ инструментовъ, несмотря на одинаковую силу и высоту, различенъ, и мы съ большою легкостью узнаемъ по звуку тотъ инструментъ, который его воспроизвелъ.

Измѣненія оттѣнковъ звука проявляются безконечно разнообразно, потому что, кромѣ того, что мы имѣемъ множество различныхъ музыкальныхъ инструментовъ, которые могли бы дать одну и ту же ноту, кромѣ того, что различные экземпляры того же инструмента, а также и голоса различныхъ индивидуумовъ обнаруживаютъ еще болѣе тонкія, извѣстнаго рода видоизмѣненія оттѣнка, которыя различаетъ наше ухо, одна и таже нота можетъ быть даже еще иногда воспроизводима однимъ и тѣмъ же инструментомъ съ многоразличными измѣненіями оттѣнка. Въ этомъ отношеніи изъ всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ наиболѣе отличаются смычковые. Человѣческій голосъ еще богаче, и человѣческая рѣчь пользуется именно этими измѣненіями оттѣнка звука, для характеризованія различныхъ буквъ. Въ особенности здѣсь слѣдуетъ упомянуть о различныхъ гласныхъ какъ о длящихся музыкально-годныхъ звукахъ голоса, тогда какъ составленіе согласныхъ основано по большей части на шумахъ короткой продолжительности.

Если мы теперь спросимъ, какому внѣшнему физическому различію звуковыхъ волнъ соотвѣтствуютъ различные оттѣнки звука, то такъ какъ мы уже видѣли, что сила тона отвѣчаетъ амплитудѣ колебанія, а продолжительность колебанія высотѣ звука, то оттѣнокъ звука отъ нихъ зависѣть не можетъ. Послѣ этого единственно возможнымъ остается только то, что оттѣнокъ звука зависитъ отъ рода и способа, какъ происходитъ движеніе въ предѣлахъ каждаго отдѣльнаго періода колебаній. Для воспроизведенія музыкальнаго звука, мы требовали отъ движенія звучащаго тѣла, чтобы оно было только періодичное, т. е. чтобы въ предѣлахъ каждаго періода колебаній происходило въ точности то же самое, что происходило въ предъидущихъ періодахъ. Какого же рода движеніе въ предѣлахъ каждаго отдѣльнаго періода,—это осталось совершенно произвольнымъ, такъ что въ этомъ отношеніи еще возможно безконечное разнообразіе движенія звука.

Сначала разсмотримъ примѣры такихъ періодическихъ движеній, которыя достаточно медленны для того, чтобы можно было бы слѣдить за ними глазами. Возьмемъ сперва такой маятникъ, который мы можемъ изготовить во всякое время, повѣсивъ тяжесть къ концу нити и приведя ее въ движеніе. Маятникъ качается вправо и влѣво, совершая равномѣрное непрерывающееся нигдѣ толчками движеніе; близь обоихъ концовъ своего пути онъ движется медленно, въ срединѣ же скоро. Въ числѣ звучащихъ тѣлъ, движущихся въ такомъ же родѣ, только гораздо скорѣе, можно указать на камертоны. Если камертонъ привести въ сотрясеніе ударами, или штрихомъ смычка, затѣмъ допустить медленное замираніе его звука, то его вѣтви будутъ колебаться совершенно такимъ же образомъ и по тѣмъ же законамъ прямаго и обратнаго движенія, какъ и маятника, съ тою только разницею, что въ то время, въ которое этотъ послѣдній дѣлаетъ одно колебаніе, вѣтви камертона ихъ сдѣлаютъ нѣсколько сотенъ.

Другимъ примѣромъ періодическаго движенія можетъ быть молотъ, приведенный въ движеніе колеснымъ механизмомъ водяной мельницы. Механизмомъ мельницы онъ медленно поднимается, затѣмъ, предоставленный самому себѣ, онъ вдругъ падаетъ внизъ, потомъ снова медленно подымается и т. д. Здѣсь мы опять имѣемъ дѣло съ періодическимъ прямымъ и обратнымъ движеніемъ, но очевидно, что родъ этого движенія совершенно иной, чѣмъ маятника. Изъ наиболѣе подходящихъ къ этому примѣру звуковыхъ движеній могло бы быть движеніе сотрясенной смычкомъ скрипичной струны, что мы обстоятельнѣе опишемъ въ пятой главѣ. Струна нѣкоторое время прилегаетъ къ смычку и увлекается имъ до тѣхъ поръ, пока отъ него внезапно не отдѣлится подобно молоту мельницы, и какъ онъ же, предоставленная самой себѣ, она движется съ гораздо большею скоростью, пока снова не будетъ захвачена и увлечена смычкомъ.

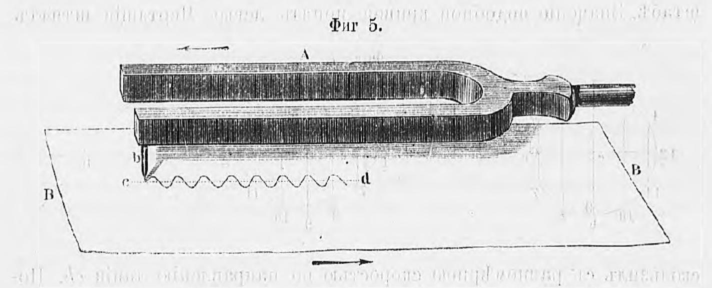
Представимъ себѣ далѣе упругій мячъ, который будучи брошенъ вертикально вверхъ, встрѣчается при своемъ паденіи ударомъ играющаго, такъ что снова подымается на такую же высоту, какъ и прежде, что можетъ всегда повторяться въ одинаковые промежутки времени. Такой мячъ потребовалъ бы столько же времени для своего поднятія, сколько и для того, чтобы опуститься; его движеніе было бы прервано въ нижайшей точкѣ проходимаго пути и обращено въ обратное; въ верхней же части оно бы переходило изъ постепенно замедляющагося восхожденія въ постепенно ускоряющееся паденіе. Слѣдовательно, это было бы третьимъ родомъ прямаго и обратнаго періодическаго движенія, коего ходъ существенно отличается отъ первыхъ двухъ.

Для того, чтобы законъ подобныхъ движеній передать нагляднѣе продолжительныхъ описаній, математиками и физиками принято

примѣнять графическій способъ, которымъ впослѣдствіи и мы будемъ принуждены довольно часто пользоваться и поэтому сущность этого способа я обязанъ изложить здѣсь.

Для того, чтобы его сдѣлать болѣе понятнымъ, представимъ себѣ прикрѣпленнымъ къ камертону *A* карандашикъ *b* (фиг. 5), который бы могъ чертить по листу бумаги *BB*; пусть передвигаютъ съ постоянною скоростью или камертонъ надъ бумагою по направленію верхней стрѣлки, или же перемѣщаютъ бумагу подъ камертономъ въ противоположномъ направленіи, именно по направленію нижней стрѣлки такъ, что если бы при этомъ движеніи камертонъ не звучалъ, то онъ какъ разъ бы начертилъ пунктирную линію *dc*.

Фиг 5.



Если теперь камертонъ перемѣщается такимъ образомъ надъ бумагою и при этомъ его вѣтви приведены въ колебаніе, то онъ опишетъ волновую линію *cd*. Именно если онъ колеблется, то оконечность его съ карандашикомъ *b* будетъ постоянно въ прямомъ и обратномъ движеніи, находясь то надъ, то подъ пунктирною линіею *cd*, какъ это показываетъ изображенная волновая линія. Эта линія, разъ обозначенная на бумагѣ, остается какъ изображеніе того рода движенія, которое было исполнено оконечностью камертона въ то время, какъ онъ воспроизводилъ звучащія колебанія. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ карандашикъ *b* передвигался съ постоянною скоростью по направленію прямой *cd*, то одинаковыя дѣленія линіи *cd* соотвѣтствуютъ равнымъ малымъ промежуткамъ времени этого движенія и уклоненіе волновой линіи кверху и книзу отъ соотвѣтствующаго мѣста на прямой *cd* указываетъ, на сколько въ соотвѣтствующіе промежутки времени карандашикъ *b* отклонился кверху и книзу отъ своего положенія равновѣсія.

Если такой, какъ приведенный здѣсь опытъ, долженъ быть воспроизведенъ дѣйствительно, то самое лучшее обтянуть бумагою цилиндръ, приводимый въ равномѣрное вращательное движеніе посредствомъ часоваго механизма. Послѣ того какъ бумага смочена, ее

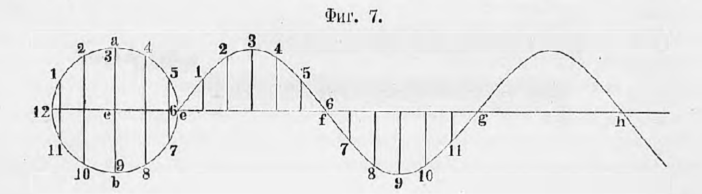
вращаютъ надъ терпентиннымъ пламенемъ, пока она не покроется сажею и тогда можно уже по ней легко чертить тонкіе штрихи тон-

Фиг. 6.

кимъ, немного закругленнымъ стальнымъ штифтомъ. Фигура 6 изображаетъ копію съ рисунка, исполненнаго такимъ образомъ камертономъ на вращающемся цилиндрѣ фонаутографа гг. Скотта (Scott) и Кёнига (König).

Фигура 7 изображаетъ часть этой кривой въ увеличенномъ масштабѣ. Значеніе подобной кривой понять легко. Чертящій штифтъ

Фиг. 7.



скользилъ съ равномѣрною скоростью по направленію линіи *eh*. Положимъ, что онъ употребилъ $^1/_{10}$ секунды, чтобы описать часть *eg*; раздѣлимъ *eg* на 12 равныхъ частей, какъ это показано на рисункѣ; тогда для прохожденія ширины такого дѣленія въ горизонтальномъ направленіи, чертящій штифтъ употребитъ $^1/_{120}$ часть секунды и кривая намъ показываетъ на какой сторонѣ и въ какомъ разстояніи отъ положенія равновѣсія находился колеблющійся штифтъ послѣ $^1/_{120}$, $^2/_{120}$ и т. д. секунды и вообще послѣ какого угодно короткаго промежутка времени, считая съ того мгновенія, когда онъ проходилъ чрезъ точку *e*. Мы видимъ, что, по окончаніи $^1/_{120}$-й секунды, онъ уклонился вверхъ на высоту, соотвѣтствующую 1; что уклоненіе его возрастало до $^3/_{120}$ секунды и затѣмъ снова убывало; что послѣ $^6/_{120} = ^1/_{20}$ секунды оно снова возвратилось въ свое положеніе равновѣсія, потомъ уклонилось въ противоположную сторону и т. д. Далѣе мы можемъ также легко опредѣлить, гдѣ находился колеблющійся штифтъ въ концѣ любаго дѣленія этой $^1/_{120}$ секунды. Слѣдовательно, подобный рисунокъ показываетъ непосредственно въ какомъ мѣстѣ своего пути находилось колеблющееся тѣло въ каждый произвольно взятый моментъ времени и даетъ вмѣстѣ съ тѣмъ полное изображеніе его движенія. Если читатель желаетъ себѣ представить движеніе колеблющейся точки, то пусть себѣ сдѣлаетъ вертикальный узкій

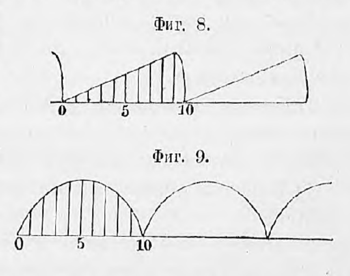
разрѣзъ на листѣ бумаги, наложитъ бумагу на фиг. 6-ю или 7-ю такимъ образомъ, чтобы онъ увидѣлъ сквозь разрѣзъ малую часть кривой и пусть передвигаетъ медленно подъ бумагою книгу; тогда черная или бѣлая точка въ прорѣзѣ будетъ переходить кверху и книзу, но только медленнѣе, чѣмъ это исполняетъ камертонъ. Правда, что мы не можемъ заставить всѣ колеблющіяся тѣла непосредственно чертить на бумагѣ ихъ колебанія, хотя въ настоящее время и сдѣланы большіе успѣхи въ служащихъ для этой цѣли способахъ. Однако мы можемъ чертить такія кривыя для всѣхъ звучащихъ тѣлъ и изобразить такимъ же способомъ графически ихъ движеніе, если мы знаемъ законъ этого движенія, т. е. если мы знаемъ въ какомъ разстояніи отъ своего положенія равновѣсія находилась колеблющаяся точка въ каждый произвольно избранный моментъ времени. Отложимъ въ самомъ дѣлѣ на горизонтальной линіи *eg* фиг. 7 длины, изображающія промежутки времени и перпендикулярно къ ней по ту и другую сторону отложимъ еще длины равныя, или пропорціональныя разстояніямъ колеблющейся точки отъ ея первоначальнаго положенія; соединяя концы перпендикуляровъ, мы получимъ ту кривую, какую бы намъ начертило колеблющееся тѣло, если бы было возможно его заставить чертить само.

Такъ фигура 8-я изображаетъ движеніе молота, поднятаго водянымъ колесомъ, или же точки скрипичной струны, захваченной смычкомъ; въ теченіи первыхъ девяти промежутковъ времени она подымается медленно и равномѣрно, а во время десятаго она внезапно опускается.

Фигура 9-я изображаетъ движеніе мяча, который въ моментъ своего паденія снова отпрыгиваетъ. Восхожденіе и нисхожденіе совершаются одинаково скоро, тогда какъ въ фигурѣ 8 первое происходитъ медленнѣе. Только въ самой высшей точкѣ описываемаго пути движеніе внезапно измѣняется посредствомъ удара.

Фиг. 8.

Фиг. 9.



Физики, подразумѣвая этотъ видъ кривой, говорятъ прямо о формѣ колебаній; они полагаютъ, что отъ этой формы колебанія зависитъ оттѣнокъ звука. Это предположеніе, которое до сихъ поръ основывалось только на знаніи того, что оттѣнокъ звука не можетъ зависѣть ни отъ продолжительности колебанія, ни отъ амплитуды или силы колебанія, мы впослѣдствіи подвергнемъ болѣе обстоятельному изслѣдованію. Оно окажется вѣрнымъ въ томъ отношеніи, что всякій

различный оттѣнокъ звука требуетъ иную форму колебанія; напротивъ, различныя формы колебаній могутъ соотвѣтствовать одинаковому оттѣнку звука.

Если мы наблюдаемъ съ точностью и внимательно впечатлѣніе, производимое на наше ухо различными формами волнъ, напр.: той, которая изображена на фигурѣ 8-й и которая приблизительно соотвѣтствуетъ волнѣ скрипичной струны, то окажется оригинальный и неожиданный фактъ, правда, довольно давно уже извѣстный нѣкоторымъ музыкантамъ и физикамъ, но на который вообще смотрѣли только какъ на курьёзъ, такъ какъ не знали его общности и значенія во всѣхъ звуковыхъ явленіяхъ. Именно ухо, пораженное таковыми колебаніями, слышитъ при напряженномъ вниманіи не только тотъ тонъ, коего высота опредѣлена продолжительностью колебаній такимъ образомъ, какъ мы это изложили прежде, но кромѣ его слышитъ еще цѣлый рядъ тоновъ, которые мы называемъ верхними гармоническими тонами (harmonische Obertöne) звука въ противоположность къ первому тону, основному тону, который между всѣми ими самый низкій и также сильнѣйшій и по высотѣ котораго мы судимъ о высотѣ всего звука. Рядъ этихъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ совершенно тотъ же для всѣхъ музыкальныхъ звуковъ, которые отвѣчаютъ правильному періодическому движенію воздуха; они суть именно слѣдующіе:

1) Высшая октава основнаго тона, дѣлающая вдвое болѣе колебаній, чѣмъ основной тонъ. Если мы назовемъ основной тонъ *c*, то высшая октава *c'*.

2) Квинта этой октавы *g'* дѣлаетъ втрое болѣе колебаній основнаго тона.

3) Вторая высшая октава *c''* дѣлаетъ въ 4 раза болѣе колебаній.

4) Большая терція этой октавы *e''* дѣлаетъ въ 5 разъ болѣе колебаній.

5) Квинта этой октавы *g''* дѣлаетъ въ 6 разъ болѣе колебаній.

Къ послѣднему тону присоединяется еще, становясь все слабѣе и слабѣе, тоны совершающіе въ 7, 8, 9 и т. д. разъ болѣе колебаній, чѣмъ основной тонъ. Слѣдовательно, въ нотномъ письмѣ это выразится такъ:

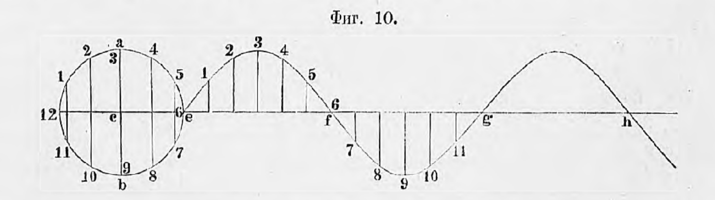
Цифры подъ линіями обозначаютъ во сколько разъ число колебаній верхнихъ гармоническихъ тоновъ болѣе числа колебаній основнаго тона.

Мы назвали звукомъ (Klang) совокупность ощущеній, которую производитъ въ ухѣ періодическое сотрясеніе воздуха. Теперь же мы находимъ рядъ разнообразныхъ въ немъ заключающихся тоновъ, которые мы назовемъ частными тонами (Theiltöne oder Partialtöne). Первый изъ этихъ частныхъ тоновъ есть основной тонъ звука, остальные же суть его верхніе гармоническіе тоны. Число по порядку каждаго частнаго тона обозначаетъ во сколько разъ число его колебаній больше, чѣмъ въ основномъ тонѣ. Слѣдовательно второй частный тонъ дѣлаетъ вдвое болѣе колебаній, третій втрое болѣе и т. д.

Омомъ (Ohm) было впервые высказано и предположено, что существуетъ только одна единственная форма колебанія, коей звукъ не содержитъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ и слѣдовательно единственная составная часть котораго—основной тонъ. Это есть та форма колебанія, которую мы описали выше какъ присущую маятнику и камертону и которую мы изобразили на фигурахъ 6 и 7. Эти колебанія мы назовемъ маятникообразными колебаніями (pendelartigen Schwingungen), такъ какъ ихъ звукъ не производитъ никакого дальнѣйшаго сложенія изъ различныхъ тоновъ съ простыми колебаніями. Въ какомъ смыслѣ могутъ быть разсматриваемы какъ сложные не только всѣ другіе звуки, но даже и всѣ другія формы колебаній,—это объяснится впослѣдствіи. Слѣдовательно, мы будемъ употреблять выраженія: простое или маятникообразное колебаніе *) какъ равнозначущія. Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы бу-

*) Законъ этого колебанія можетъ быть изложенъ популярно посредствомъ построенія изображеннаго на фиг. 10. Представимъ себѣ точку на

Фиг. 10.



окружности, описанной изъ точки *c*, вращающуюся съ постоянною скоростью, и наблюдателя, находящагося въ большомъ разстояніи на продолженіи линіи *ch*, такъ что онъ не можетъ видѣть площадь упомянутаго круга, но только его окраину; тогда передвигающаяся по окружности точка представится ему такъ, какъ будто она восходитъ и нисходитъ вдоль діаметра *ab*; это восхожденіе и нисхожденіе должно происходить въ точности по закону маятникообразныхъ колебаній. Для того, чтобы это движеніе изобразить графически кривою, раздѣлимъ длину *cg*, которая соотвѣтствуетъ

демъ употреблять слово тонъ только для звука простыхъ колебаній, тогда какъ до сихъ поръ тонъ былъ употребляемъ большею частью въ такомъ же значеніи слова, какъ и звукъ. Но въ акустикѣ нужно непремѣнно дѣлать различіе между звукомъ, т. е. впечатлѣніемъ вообще періодическаго движенія воздуха, и тономъ, впечатлѣніемъ простаго колебанія; поэтому, употреблявшаяся нами до сихъ поръ терминологія оправдываетъ, какъ мнѣ кажется, это установленіе понятій. Говоря о звукѣ, мы упоминаемъ о высотѣ тона (Tonhöhe), которая можетъ относиться только до одного отдѣльнаго тона, тогда какъ, строго говоря, звуку можно приписать различныя высоты тоновъ, соотвѣтствующія его различнымъ частнымъ тонамъ.

Переданные здѣсь факты показываютъ, что всякій звукъ, въ которомъ есть возможность различать верхніе тоны, есть уже дѣйствительно звуковое сочетаніе разныхъ тоновъ.

Такъ какъ оттѣнокъ звука, какъ мы это видѣли, зависитъ отъ формы колебанія, и такъ какъ этою послѣднею опредѣляется въ свою очередь проявленіе верхнихъ тоновъ, то теперь мы будемъ должны предложить слѣдующій вопросъ, а именно: на сколько зависитъ различіе оттѣнка звука отъ сочетанія основнаго тона съ различными верхними тонами различной силы. Этою постановкою вопроса намъ открывается путь къ разъясненію причины до сихъ поръ совершенно загадочной, а именно,—сущности оттѣнка звука. Затѣмъ мы еще попытаемся по необходимости рѣшить тотъ вопросъ, какъ ухо доходитъ до того, чтобы разложить каждый звукъ на рядъ частныхъ тоновъ и какой смыслъ имѣетъ это разложеніе. Это будетъ дѣломъ слѣдующей главы.

продолжительности цѣлаго колебанія, на столько равныхъ частей (здѣсь на 12), на сколько раздѣлена окружность круга, а перпендикуляры, въ точкахъ дѣленія линіи *eg* 1, 2, 3 и т. д. сдѣлаемъ по порядку равными тѣмъ, которые въ окружности обозначены соотвѣтствующими дѣленіями 1, 2, 3 и т. д. Такимъ образомъ получается изображенная на фиг. 10 кривая, которая по виду согласуется съ кривою, начерченною камертономъ фиг. 6, но имѣетъ только большіе размѣры. При простомъ колебаніи, разстояніе колеблющейся точки отъ ея положенія равновѣсія, выраженное математически равняется синусу дуги, возрастающей пропорціонально времени, отчего простыя колебанія называютъ также синусовидными колебаніями (Sinusschwingungen).

ГЛАВА II.

Сложеніе колебаній.

Въ концѣ предъидущей главы мы узнали тотъ замѣчательный фактъ, что человѣческое ухо, при извѣстныхъ обстоятельствахъ, разлагаетъ звукъ, произведенный отдѣльнымъ музыкальнымъ инструментомъ, на рядъ тоновъ; именно, на основной тонъ и различные верхніе тоны, которые оно ощущаетъ всѣ въ отдѣльности. Изъ ежедневнаго опыта намъ извѣстно, что ухо можетъ отличать другъ отъ друга такіе тоны, которые имѣютъ различное происхожденіе, т. е. которые исходятъ не изъ одного, а изъ многихъ звучащихъ тѣлъ. Въ концертѣ мы можемъ слѣдить безъ затрудненія за мелодическимъ ходомъ каждой отдѣльной вокальной или инструментальной партіи, сосредоточивъ на ней наше вниманіе, а при нѣкоторой большей практикѣ, удается даже слѣдить за одновременнымъ движеніемъ многихъ соединенныхъ партій.

Тоже самое относится не только къ музыкальнымъ звукамъ, но также и къ шуму, или же къ ихъ смѣси. Если нѣсколько человѣкъ говорятъ одновременно, то мы можемъ вообще, по произволу, прислушиваться къ словамъ того или другаго разговаривающаго и понимать ихъ, предполагая, что они не слишкомъ заглушаются силою другихъ. Отсюда во первыхъ слѣдуетъ, что многіе различные системы звуковыхъ волнъ могутъ распространяться одновременно чрезъ одну и ту же воздушную среду, не мѣшая взаимно другъ другу и во вторыхъ, что человѣческое ухо обладаетъ способностью разлагать въ своемъ ощущеніи сложное движеніе воздуха, произведенное нѣсколькими одновременно дѣйствующими звуковыми орудіями, на простыя его составныя части. Мы вскорѣ опишемъ какого рода должно быть движеніе воздуха въ томъ случаѣ, когда въ немъ существуетъ одновременно нѣсколько звуковъ и чѣмъ отличается такое сложное движеніе отъ движенія простаго звука. При этомъ окажется, что между движеніемъ воздуха, возбужденнымъ посред-

ствомъ многихъ звуковъ, исходящихъ изъ разныхъ источниковъ и движеніемъ воздуха одного отдѣльнаго звука, возбужденнаго однимъ отдѣльнымъ звучащимъ тѣломъ, явственно опредѣленная разница существуетъ для уха отнюдь не во всѣхъ случаяхъ, а именно,—она не существуетъ смотря потому, какъ на него можетъ дѣйствовать движеніе воздуха; поэтому-то, благодаря той же самой способности, при помощи которой ухо анализируетъ сложные звуки, оно должно также, при извѣстныхъ обстоятельствахъ, анализировать и простые звуки.

Такимъ образомъ для насъ сдѣлается яснымъ смыслъ разложенія отдѣльнаго звука на рядъ частыхъ тоновъ и мы увидимъ, что это явленіе основывается на одномъ изъ самыхъ существенныхъ свойствъ человѣческаго уха.

Мы начнемъ съ изслѣдованія движенія воздуха, соотвѣтствующаго многимъ, одновременно звучащимъ и существующимъ вблизи другъ друга тонамъ. Для того, чтобы сдѣлать родъ такого движенія нагляднымъ, мы можемъ снова подкрѣпить наши доводы примѣромъ волнъ, происходящихъ на гладкой поверхности воды. Мы уже видѣли, что если часть этой поверхности будетъ сотрясена паденіемъ камня, то сотрясеніе распространяется на поверхности въ видѣ кольцевидной волны къ болѣе и болѣе удаленнымъ точкамъ поверхности отъ мѣста паденія камня. Бросимъ теперь одновременно въ воду два камня въ два различныя мѣста ея поверхности; тогда мы получимъ два центра сотрясенія; отъ каждаго изъ нихъ произойдетъ кольцевидная волна; каждая изъ этихъ волнъ будетъ увеличиваться одновременно съ другою и наконецъ онѣ достигнутъ другъ друга. Тѣ мѣста поверхности воды, гдѣ онѣ встрѣчаются, приводятся теперь одновременно въ движеніе обоими сотрясеніями, что однако же не мѣшаетъ распространяться дальше обѣимъ кольцевиднымъ волнамъ совершенно такъ, какъ будто бы каждая изъ нихъ существовала совершенно отдѣльно, а другой бы совершенно и не было. При дальнѣйшемъ продолженіи ихъ пути, тѣ части волнъ, которыя только что совпадали, отдѣляются снова и представляются глазу опять изолированными и въ неизмѣнной своей формѣ. Къ этимъ маленькимъ волнамъ, произведеннымъ брошенными камнями, могутъ еще присоединиться другіе виды волнъ, какъ напр. тѣ, которыя возбуждаются вѣтромъ или мимоидущимъ пароходомъ. При этомъ на волнующейся поверхности воды увидятъ наши кольцевидныя волны, распространяющимися также спокойно и правильно, какъ и на гладкой водяной поверхности. Большія волны существенно не нарушаются маленькими, равно какъ и маленькія большими, предполагая, что онѣ нигдѣ не разбиваются прибоемъ, отчего бы ихъ правильный ходъ былъ дѣйствительно нарушенъ.

Вообще не легко обозрѣть съ возвышенной точки обширную поверхность воды безъ того, чтобы предъ собою не увидѣть множество разныхъ волновыхъ системъ, взаимно накрывающихся и перекрещивающихся.

Въ этомъ отношеніи наиболѣе разнообразія представляетъ поверхность моря, когда она наблюдается съ высокаго берега и начинаетъ успокоиваться послѣ сильнаго вѣтра. Тогда сразу увидятъ направляющіяся издали къ берегу и слѣдующія другъ за другомъ на одинаковыхъ разстояніяхъ длинными растянутыми линіями большія волны, обрисовывающіяся мѣстами болѣе ясно своими бѣлыми хребтами. Сообразно извилинамъ берега онѣ отъ него отражаются по разнымъ направленіямъ, такъ что подступающія къ нему волны пересѣкаются отраженными вкось. Мимоидущій пароходъ оставляетъ кромѣ того за собою вилообразную систему волнъ, а птица, при ловлѣ рыбы, производитъ маленькія круговыя волны. Глазъ наблюдателя можетъ легко слѣдить въ отдѣльности за всѣми этими различными системами волнъ, большими и малыми, широкими и узкими, прямыми и кривыми; онъ можетъ наблюдать за ихъ движеніемъ на поверхности воды, коему слѣдуетъ каждая система безпрепятственно, какъ будто бы жидкая поверхность, на которой она распространяется, не была возбуждена одновременно другими силами и другими движеніями. Я долженъ признаться, что такое зрѣлище каждый разъ, какъ я за нимъ внимательно слѣдилъ, доставляло мнѣ совершенно особаго рода умственное наслажденіе, потому что здѣсь физическому глазу раскрывается то, что можетъ быть уяснено относительно волнъ невидимаго воздушнаго пространства только умозрѣніемъ, посредствомъ продолжительнаго ряда сложныхъ выводовъ.

Совершенно подобное же зрѣлище должно себѣ мысленно представить происходящимъ внутри танцовальной залы. Тамъ мы имѣемъ множество музыкальныхъ инструментовъ, говорящихъ личностей шумящихъ платьевъ, шаркающихъ ногъ, звякающихъ стакановъ и т. п.; все это возбуждаетъ волнообразныя системы, которыя устремляются въ воздушную среду залы, отражаются отъ ея стѣнъ и измѣнивъ направленіе движенія, попадаютъ въ другія стѣны, снова отражаются и т. д. до тѣхъ поръ, пока не исчезнутъ. Надо себѣ представить, что изъ рта мужчинъ и изъ наиболѣе низко звучащихъ музыкальныхъ инструментовъ исходятъ растянутыя волны отъ 8 до 12 футовъ длины, что изъ рта дамъ исходятъ болѣе короткія волны отъ 2-хъ до 4-хъ ф. и что шумъ платья производитъ тонкую маленькую систему волнъ; короче сказать, здѣсь цѣлое смѣшеніе разнородныхъ движеній, которое почти се[illegible] невозможно представить во всей его сложности; однако же ухо въ состояніи отдѣлить всѣ отдѣльныя со-

ставныя части столь запутаннаго цѣлаго, изъ чего мы должны заключить, что всѣ эти волны существуютъ въ массѣ воздуха, другъ возлѣ друга, взаимно не нарушаясь. Какимъ же образомъ возможно, что онѣ существуютъ другъ возлѣ друга, когда всякая отдѣльная волнообразная система стремится возбудить въ каждой точкѣ воздушной среды свою особую величину сгущенія или разрѣженія, или же скорость по тому или другому направленію. Ясно, что въ каждомъ отдѣльномъ мѣстѣ воздушной среды можетъ быть въ данный моментъ только одна степень плотности, потому что частицы воздуха могутъ воспроизвести въ этомъ случаѣ только одно опредѣленное движеніе, одной опредѣленной степени скорости и въ одномъ опредѣленномъ направленіи; то, что происходитъ въ подобномъ случаѣ въ воздухѣ, глазъ видитъ непосредственно при наблюденіи водяныхъ волнъ. Если на поверхности воды пробѣгаютъ длинныя широкія волны и мы на нее бросимъ камень, то воспроизведенныя имъ кольцевидныя волны врѣжутся въ подвижную, частью приподнятую,частью понизившуюся поверхность, совершенно такъ, какъ будто бы онѣ распространялись на совершенно гладкой поверхности воды, т. е. возвышенія кольцевидныхъ волнъ поднимутся на столько же, на сколько углубленія понизятся; слѣдовательно тамъ, гдѣ возвышеніе кольцевидной волны налагается на одно изъ возвышеній системы большихъ волнъ, поднятіе поверхности воды равно суммѣ обѣихъ сложившихся высотъ возвышеній; а тамъ, гдѣ углубленіе кольцевидной волны совпадаетъ съ углубленіемъ системы большихъ волнъ, общее пониженіе поверхности воды будетъ равно суммѣ глубинъ обоихъ углубленій. Тамъ же гдѣ углубленіе врѣзывается въ возвышеніе системы большихъ волнъ, высота этого возвышенія будетъ уменьшена на глубину углубленія. Это описаніе мы можемъ изложить короче, если будемъ разсматривать высоты возвышеній, подымающіяся надъ уровнемъ спокойной поверхности воды какъ величины положительныя, глубины же углубленій—какъ величины отрицательныя, а сумму такихъ положительныхъ и отрицательныхъ величинъ будемъ составлять въ алгебраическомъ смыслѣ, при чемъ, какъ извѣстно, каждыя двѣ соединяющіяся положительныя величины (т. е. возвышенія), равно какъ и каждыя двѣ соединяющіяся отрицательныя (т. е. углубленія) дѣйствительно складываются; тамъ же, гдѣ положительныя величины сходятся съ отрицательными, онѣ другъ изъ друга вычитаются. Слѣдовательно, если мы производимъ сложеніе въ алгебраическомъ смыслѣ, то можемъ выразить наше описаніе поверхности воды, при двухъ соединяющихся системахъ волнъ, просто вотъ какъ: высота поверхности воды въ каждой ея точкѣ и въ каждый моментъ также велика какъ сумма тѣхъ высотъ, которую должны были бы

воспроизвести отдѣльныя системы волнъ, взятыя отдѣльно на той же точкѣ и въ тотъ же моментъ.

Глазъ различаетъ ходъ этого явленія всего яснѣе и легче въ такомъ же случаѣ, какъ въ вышеприведенномъ примѣрѣ кольцевидной волны, распространяющейся на поверхности воды уже покрытой большими прямолинейными волнами, потому что здѣсь обѣ системы значительно отличаются другъ отъ друга длиною, шириною и направленіемъ ихъ волнъ. Однако, при нѣкоторомъ вниманіи, глазъ удостовѣряется, что совершенно тоже происходитъ и тогда, когда различныя системы волнъ еще меньше различаются своими формами, напр. когда направляющіяся къ берегу длинныя и прямолинейныя волны смѣшиваются съ волнами, отраженными отъ берега въ нѣсколько иномъ направленіи. Тогда образуются нерѣдко нами видѣнныя порванныя, гребнеобразныя волновыя возвышенія, вслѣдствіе того, что хребетъ возвышенія одной системы повышается въ отдѣльныхъ пунктахъ посредствомъ возвышеній другой системы; въ другихъ же пунктахъ онъ разрѣзывается посредствомъ ея углубленій. Разнообразіе формъ здѣсь чрезвычайно велико и описаніе всѣхъ ихъ повело бы насъ слишкомъ далеко. Сущность этого разнообразія легко понимается каждымъ внимательнымъ наблюдателемъ безъ описанія, когда онъ смотритъ на любую движущуюся поверхность воды. Для нашей цѣли здѣсь будетъ достаточно, если читатель себѣ уяснилъ на первомъ примѣрѣ значеніе сложенія волнъ *).

И такъ, если поверхность воды можетъ принять въ каждый отдѣльный моментъ только одну форму, въ то время какъ каждая изъ двухъ различныхъ волновыхъ системъ стремится ей придать свою особую, то, въ вышеприведенномъ смыслѣ, мы можемъ разсматривать двѣ отдѣльныя системы волнъ какъ одновременно существующія и наложенныя другъ на друга, если мы себѣ представимъ, что существующія въ дѣйствительности возвышенія и углубленія поверхности раздѣлены на двѣ части, принадлежащія составляющимъ системамъ.

Наложеніе различныхъ волнообразныхъ Звуковыхъ системъ происходитъ въ такомъ же родѣ и въ воздухѣ. Плотность воздуха, скорость и положеніе его частицъ мѣняются временно всякою Звуковою волною. Есть части Звуковой волны, которыя мы сравнили съ водяными возвышеніями, т. е. въ которыхъ количество воздуха увеличено и въ которыхъ онъ сгущенъ, не имѣя надъ собою, подобно водѣ, свободнаго пространства куда бы онъ могъ устремиться; другія

*) Скорости и отклоненія частицъ воды слагаются также на основаніи такъ называемаго закона параллелограма силъ. Впрочемъ, такого рода простое сложеніе можетъ быть, строго говоря, только въ томъ случаѣ, когда высоты волнъ безконечно малы сравнительно съ ихъ длиною.

части воздушной среды, сравненныя съ углубленіями водяныхъ волнъ, имѣютъ уменьшенное количество воздуха и слѣдовательно менѣе значительную плотность. И такъ, хотя двѣ различныя степени плотности, вызванныя двумя различными волнообразными системами, не могутъ существовать другъ съ другомъ на одномъ мѣстѣ и въ тоже время, но сгущенія и разрѣженія воздуха всё-таки могутъ складываться совершенно также, какъ возвышенія и углубленія водяной поверхности. Тамъ, гдѣ два сгущенія совпадаютъ, мы получаемъ большее сгущеніе; тамъ же гдѣ совпадаютъ два разрѣженія, мы получаемъ болѣе сильное разрѣженіе, тогда какъ при совпаденіи сгущенія и разрѣженія, они противудѣйствуютъ или же совершенно уничтожаютъ другъ друга.

Перемѣщенія воздушныхъ частицъ складываются точно такимъ же образомъ. Если перемѣщеніе двухъ отдѣльныхъ волнообразныхъ системъ послѣдуетъ не по одному направленію, то оба перемѣщенія складываются по діагонали; такъ напр.: если одна волнообразная система стремится перемѣстить одну и ту же воздушную частицу кверху, а другая—вправо, то она приметъ облическое направленіе вверхъ и вправо. Для предположенной нами цѣли, намъ нѣтъ надобности ближе вдаваться въ подобное разсмотрѣніе сложенія движеній различныхъ направленій. Насъ только интересуетъ дѣйствіе массы воздуха на ухо и при этомъ все сводится только къ движенію воздуха въ слуховомъ проходѣ. Однако же нашъ слуховой проходъ, будучи сравниваемъ съ длиною Звуковыхъ волнъ, относительно такъ узокъ, что мы должны принимать во вниманіе только движенія воздуха, идущія параллельно его оси и слѣдовательно должны различать только перемѣщенія воздушныхъ частицъ внаружу и во внутрь, т. е. къ отверстію и къ глубинѣ слуховаго прохода. Относительно величинъ этихъ перемѣщеній, равно какъ и скоростей, съ которыми воздушныя частицы передвигаются внаружу или во внутрь, происходитъ опять тотъ же способъ сложенія, какъ и для волновыхъ возвышеній и углубленій.

И такъ, если нѣсколько звучащихъ тѣлъ одновременно возбуждаютъ въ окружающей насъ воздушной средѣ волнообразныя Звуковыя системы, то измѣненія плотности воздуха, равно какъ и перемѣщенія и скорости воздушныхъ частицъ внутри слуховаго прохода, равняются суммѣ тѣхъ соотвѣтствующихъ измѣненій, перемѣщеній и скоростей, которыя произвели бы одиночныя волнообразныя Звуковыя системы, взятыя отдѣльно *); въ этомъ же отношеніи мы можемъ сказать, что всѣ отдѣльныя колебанія, которыя произвели бы одиночныя волнообразныя Звуковыя системы, существовали бы одновременно и безпрепятственно другъ возлѣ друга въ нашемъ слуховомъ проходѣ.

*) Тоже самое относится и до всей воздушной среды, если произвести сложеніе отклоненій разныхъ направленій по закону параллелограма силъ.

Разъяснивъ такимъ образомъ первый вопросъ, т. е. въ какомъ смыслѣ возможно существованіе другъ съ другомъ нѣсколькихъ различныхъ движеній на одной и той же поверхности воды и въ одной и той же воздушной средѣ, мы перейдемъ къ тому, чтобы опредѣлить родъ дѣятельности, которая приходится на долю нашихъ органовъ чувствъ, долженствующей разложить на составныя части столь сложное цѣлое.

Я уже упомянулъ, что глазъ, который обозрѣваетъ пространную разнообразно волнующуюся водяную поверхность, можетъ съ достаточною легкостью отдѣлять однѣ волновыя движенія отъ другихъ и слѣдить за каждымъ изъ нихъ отдѣльно; при этомъ глазъ имѣетъ относительно уха большое преимущество въ томъ отношеніи, что онъ можетъ обозрѣвать одновременно значительное протяженіе водяной поверхности. Слѣдовательно, онъ легко различаетъ прямолинейны ли, или закруглены волновыя системы, имѣютъ ли онѣ или нѣтъ одинъ и тотъ же центръ кривизны и въ какомъ направленіи онѣ распространяются; всѣми этими наблюденіями онъ получаетъ столько же вспомогательныхъ средствъ для того, чтобы различить,— принадлежатъ ли два волновыя возвышенія къ одной системѣ или нѣтъ, сколько и для того, чтобы находить принадлежащія соотвѣтственно другъ другу части, каждую отдѣльно. Къ этому присоединяется еще и то, что на поверхности воды волны не одинаковой волновой длины передвигаются съ неодинаковою скоростью, т. е. если онѣ въ какое нибудь мгновеніе и совпадаютъ другъ съ другомъ, такъ что ихъ трудно отдѣлить, то непосредственно вслѣдъ за этимъ одна изъ системъ опереживаетъ другую, которая остается назади и глазъ ихъ вскорѣ видитъ разъединенными. Такимъ образомъ, наблюдателю вообще весьма облегчено относить каждую отдѣльную систему къ ея исходной точкѣ и затѣмъ не терять ее изъ виду во время дальнѣйшаго ея хода. Слѣдовательно, двѣ отдѣльныя системы волнъ, имѣющія два разныя исходныя начала, никогда и не могутъ сливаться для чувства зрѣнія, напр.: системы, происходящія отъ паденія двухъ камней, брошенныхъ въ различныя точки поверхности воды. Если бы на нѣкоторомъ мѣстѣ поверхности воды кольцевидныя волны должны были бы совпасть такъ, что ихъ не легко было бы отдѣлить, то тѣмъ не менѣе въ большей части ихъ протяженія, онѣ всегда останутся разъединенными. Слѣдовательно, глазу не легко дойти до возможности смѣшать сложное волновое

движеніе съ простымъ. Это однако именно то, что, при совершенно схожихъ обстоятельствахъ, бываетъ съ ухомъ, когда оно разлагаетъ звукъ, произведенный однимъ звуковымъ источникомъ, на рядъ частныхъ тоновъ.

Однако же ухо относительно звуковой волнообразной системы находится въ гораздо менѣе благопріятныхъ условіяхъ, чѣмъ глазъ относительно системы водяныхъ волнъ. Дѣйствительно, ухо возбуждается только движеніемъ той массы воздуха въ слуховомъ проходѣ, которая находится въ непосредственной близости его барабанной перепонки. Такъ какъ поперечный разрѣзъ слуховаго прохода относительно малъ сравнительно съ длиною звуковыхъ волнъ, простирающеюся для употребительныхъ въ музыкѣ тоновъ отъ 32 футовъ до 6 дюймовъ, то онъ только отвѣчаетъ одной точкѣ движущейся массы воздуха. Онъ слишкомъ малъ для того, чтобы въ его различныхъ точкахъ могли произойти замѣтно различныя степени сгущенія и скорости, потому что мѣста наибольшаго и наименьшаго сгущенія, наибольшей положительной и отрицательной скорости удалены другъ отъ друга на длину полуволны. И такъ, ухо находится приблизительно въ такомъ же положеніи, какъ будто бы мы заставляли смотрѣть глазъ сквозь узкую трубку на отдѣльную точку поверхности воды, коей бы онъ могъ распознавать повышенія и пониженія, требуя отъ него и при этихъ обстоятельствахъ предпринять анализъ сложныхъ волнъ, задачу въ которой, какъ это легко понять, онъ въ большей части случаевъ потерпѣлъ бы неудачу. Ухо не въ состояніи узнать, какого рода движеніе воздуха въ отдаленныхъ мѣстахъ воздушной среды, съ плоскими или шаровидными поверхностями волны, которыми оно достигается, заключаются ли онѣ въ одномъ или нѣсколькихъ кругахъ и въ какомъ направленіи онѣ перемѣщаются. Всѣ эти вспомогательныя средства, на которыхъ главнымъ образомъ основывается сужденіе глаза, ему недоступны

Если же однако ухо, несмотря на всѣ эти затрудненія, всё-таки обладаетъ способностью отдѣлять другъ отъ друга звуки, исходящіе изъ разныхъ источниковъ и дѣйствительно обнаруживаетъ способность въ разрѣшеніи этой задачи достойную удивленія, то оно должно производить это отдѣленіе помощью совершенно другихъ данныхъ и способовъ, чѣмъ тѣ, которыми пользуется глазъ. Каковы бы однако не были эти данныя, мы попытаемся опредѣлить ихъ сущность впослѣдствіи; тогда будетъ ясно, что анализъ сложной звуковой массы долженъ быть въ связи съ опредѣленными особенностями движенія воздуха, которыя могутъ отразиться и въ такой незначительной массѣ воздуха, какова заключающаяся въ слуховомъ проходѣ. Если движенія воздушныхъ частицъ въ слуховомъ проходѣ одинако-

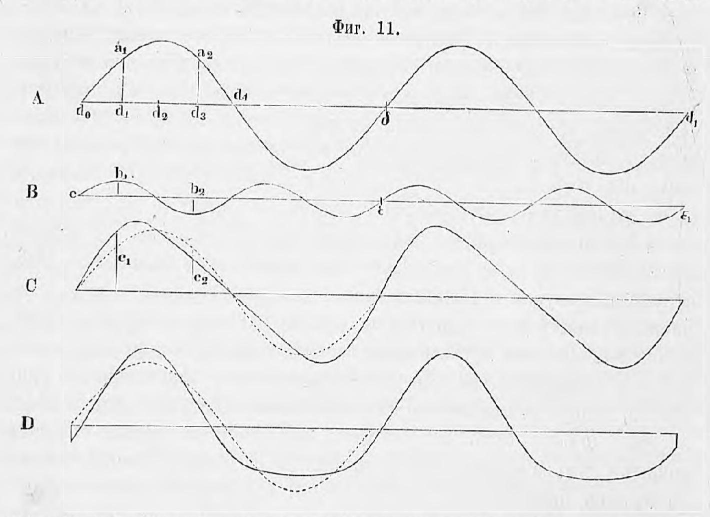
вы въ двухъ разныхъ случаяхъ, то въ ухѣ также должно произойти тожественное ощущеніе, какова бы ни была причина упомянутыхъ движеній, т. е. будутъ ли они исходить изъ одного или нѣсколькихъ звуковыхъ источниковъ.

Мы уже вывели прежде, что масса воздуха, дѣйствующая на барабанную перепонку, при принимаемыхъ здѣсь въ соображеніе обстоятельствахъ, можетъ быть только разсматриваема какъ отдѣльная точка въ окружающей насъ воздушной средѣ. И такъ, существуютъ ли особенности движенія одной отдѣльной точки, которыя различны при простомъ звукѣ или при звуковой массѣ, сложенной изъ различныхъ звуковъ? Мы видѣли, что каждому отдѣльному звуку соотвѣтствуетъ періодическое движеніе воздуха и что его высота опредѣляется продолжительностью періода, но что родъ движенія въ предѣлахъ одного цѣлаго періода совершенно произволенъ и допускаетъ безконечное разнообразіе различныхъ формъ. Если же движеніе воздуха внутри слуховаго прохода не періодично, или по крайней мѣрѣ его періоды не столь же коротки, какъ періоды слышимаго звука, то оно уже этимъ обстоятельствомъ отличается отъ каждаго движенія, принадлежащаго отдѣльному звуку; при этомъ оно должно соотвѣтствовать шуму или нѣкоторому количеству одновременно дѣйствующихъ звуковъ. Дѣйствительно, большинство такого рода случаевъ бываетъ тамъ, гдѣ только одна случайность свела различные звуки, или гдѣ они неумышленно соединены въ консонирующіе музыкальные аккорды; однако же и въ музыкальномъ исполненіи при принятомъ теперь темпераціонномъ настраиваніи инструментовъ, условія, которыя должны быть при этомъ исполнены, такъ рѣдко бываютъ точными, что зависящее отъ нихъ, какъ результатъ, движеніе воздуха не можетъ быть вполнѣ періодично. И такъ, въ большинствѣ случаевъ отсутствіе періодичности движенія будетъ служить признакомъ сложной звуковой массы.

Однако же сложная звуковая масса можетъ дать также чисто періодическое движеніе воздуха, именно тогда, когда всѣ звуки, которые между собою смѣшиваются, имѣютъ числа колебаній, которыя суть кратныя цѣлыя одного и того же числа колебаній, или, что тоже самое, когда всѣ эти звуки по своей высотѣ могутъ быть разсматриваемы какъ верхніе тоны одного и того же основнаго тона. Въ первой главѣ уже было сказано, что числа колебаній верхнихъ тоновъ суть кратныя цѣлыя числа колебаній основнаго тона. Смыслъ этого правила выяснится нагляднымъ примѣромъ. Кривая *A* (фиг. 11) изображаетъ точно также, какъ мы это объяснили въ первой главѣ, простое маятникообразное движеніе, воспроизведенное въ

воздухѣ слуховаго прохода посредствомъ звучащаго камертона. Горизонтальныя длины кривыхъ фиг. 11-й изображаютъ слѣдовательно проходящее время, а вертикальныя высоты соотвѣтствующія передвиженія воздушныхъ частицъ въ слуховомъ проходѣ. Къ первому тону, которому принадлежитъ кривая A, долженъ еще присоединиться второй, составляющій высшую октаву перваго, къ которому относится движеніе воздуха, изображенное кривою B. Соотвѣтственно этому и два колебанія кривой B имѣютъ въ точности ту же длину, какъ одно колебаніе кривой A. Отрѣзки $d_0 \delta$ и $\delta\delta_1$ кривой A заключаютъ части кривой, совершенно совпадаю-

Фиг. 11.



щія. Кривая B точно также раздѣлена на совпадающія части точками $e\varepsilon$ и $\varepsilon\varepsilon_1$. Правда, что мы можемъ каждый изъ отрѣзковъ $e\varepsilon$ и $\varepsilon\varepsilon_1$ раздѣлить еще пополамъ, при чемъ получили бы снова равныя по совпаденію части, изъ которыхъ каждая соотвѣтствовала бы одному отдѣльному періоду B. Соединяя же каждые два періода B, мы получаемъ дѣленіе B на такіе отрѣзки, которые совершенно такой же длины, какъ и отрѣзки A.

Если же теперь оба тона звучатъ вмѣстѣ и точка e совпадаетъ въ извѣстное время съ d_0, ε съ δ, ε_1 съ δ_1, то высоты кривой $e\varepsilon$ сложатся съ высотами $d_0\delta$, точно также какъ высоты $\varepsilon\varepsilon_1$ съ высотами $\delta\delta_1$. Результатъ этого сложенія изображенъ кривою C. Пунктирная линія есть снимокъ отрѣзка $d_0\delta$ кривой A. Она служитъ для того, чтобы сдѣлать сложеніе непосредственно нагляднымъ для глаза. Легко видѣть, что кривая C на столько же вездѣ повышается надъ A и отно-

сительно ея понижается, на сколько кривая B повышается надъ прямою линіею, или же относительно ея понижается. И такъ высоты кривой C_1, сообразно правилу сложенія колебаній, равняются алгебраической суммѣ соотвѣтствующихъ высотъ A и B. Такимъ образомъ, ордината c_1 на чертежѣ C будетъ суммою ординатъ a_1 и b_1 кривыхъ A и B; нижняя часть этой ординаты c_1, взятая до пунктирной линіи, равна ординатѣ a_1, верхняя равна ординатѣ b_1. Напротивъ, ордината c_2 равняется высотѣ a_2 уменьшенной на отрицательную высоту b_2; такимъ же образомъ находятъ и всѣ остальныя высоты кривой C.

Очевидно, что движеніе, изображенное кривою C, также періодично и имѣетъ такія же длины періодовъ, какъ и движеніе изображенное кривою A. Дѣйствительно, сложеніе отрѣзковъ $d_0\delta$ кривой A и $e\varepsilon$ кривой B, должно дать тотъ же результатъ, какъ и сложеніе совершенно равныхъ предъидущимъ отрѣзковъ $\delta\delta_1$ и $\varepsilon\varepsilon_1$; если же представить себѣ кривыя продолженными, то тоже будетъ и относительно всѣхъ такихъ послѣдующихъ отрѣзковъ. Но очевидно также и то, что совершенно одинаковыя части обѣихъ кривыхъ будутъ при сложеніи только тогда совпадать другъ съ другомъ, когда кривыя могутъ быть раздѣлены на равныя по совпаденію части, имѣющія одинаковую точную длину, какъ это и есть на фиг. 11-й, гдѣ два періода B имѣютъ совершенно одинаковую длину съ однимъ періодомъ A. Но горизонтальныя длины нашихъ фигуръ изображаютъ время и если мы отъ нашихъ кривыхъ возвратимся къ дѣйствительнымъ движеніямъ, то вслѣдствіе этого окажется, что сложенное изъ тоновъ A и B движеніе воздуха періодично, не смотря на его сложеніе, потому что одинъ тонъ дѣлаетъ въ то же самое время ровно вдвое болѣе колебаній другаго.

Изъ этаго примѣра не трудно понять, что особая форма обѣихъ кривыхъ A и B не имѣетъ никакого вліянія на то, чтобы ихъ сумма C была снова точною періодическою кривою. Какую бы форму кривыя A и B не имѣли, только бы каждая изъ нихъ могла быть раздѣлена на равные по совпаденію отрѣзки и длина каждаго отрѣзка одной кривой равнялась бы длинѣ каждаго изъ отрѣзковъ другой, то хотя бы послѣдніе и заключали въ себѣ одинъ, два, три и т. д. періода отдѣльной кривой, всё-таки же каждый отрѣзокъ кривой А, будучи сложенъ съ отрѣзкомъ кривой B, дастъ всегда отрѣзокъ C, который долженъ быть равенъ каждому изъ остальныхъ отрѣзковъ C, сложенному изъ другихъ соотвѣтствующихъ отрѣзковъ A и B.

Если такой отрѣзокъ обнимаетъ нѣсколько періодовъ разсматриваемой кривой, какъ напр.: на фиг. 11 отрѣзки $e\varepsilon$ и $\varepsilon\varepsilon_1$ заключаютъ по

два періода тона B, то B по высотѣ тона равняется одному изъ верхнихъ тоновъ того основнаго тона (въ фиг 11 A), коего періодъ, какъ это требуетъ вышеупомянутое правило, равенъ длинѣ одного изъ главныхъ дѣленій.

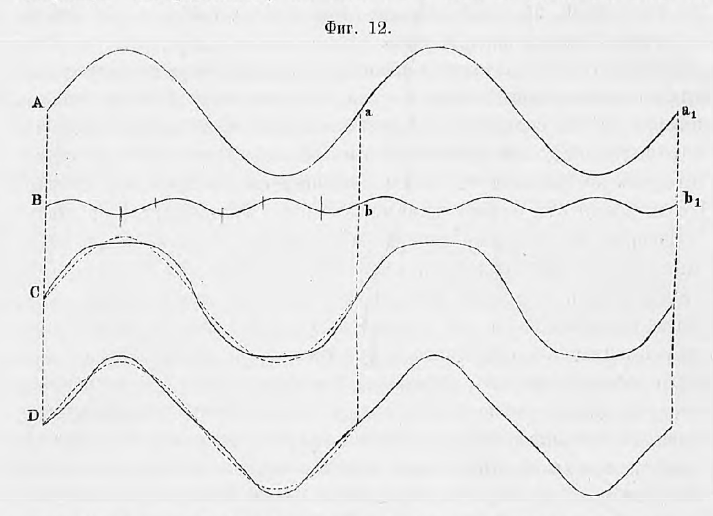
Для того, чтобы разнообразіе формъ, могущихъ произойти посредствомъ относительно простыхъ сложеній, сдѣлать нѣкоторымъ образомъ нагляднымъ, я замѣчу, что сложная кривая получитъ уже другую форму отъ того, что до производства сложенія мы только немного передвинемъ кривую B подъ кривою A. Пусть кривая B будетъ передвинута на столько, чтобы точка e попала подъ точку d_1, тогда мы получимъ кривую D (фиг. 11) съ узкими возвышеніями, и широкими углубленіями, въ которой однако оба ската возвышенія одинаково круты, тогда какъ въ кривой C одинъ скатъ круче другаго. Если мы передвинемъ кривую B далѣе такъ, чтобы точка e попала бы подъ d_2, то сложная кривая будетъ симметрична къ C, т. е. она будетъ имѣть тотъ же видъ, какъ и C, если ее представить повернутою справа на лѣво; болѣе крутой скатъ, который у C лежитъ по лѣвую сторону, будетъ лежать по правую. Наконецъ, передвинемъ кривую B на столько, чтобы точка e попала бы подъ точку d_3, тогда мы получимъ кривую въ такой симметріи съ D, что ея выдающіяся части будутъ соотвѣтствовать вдающимся D и наоборотъ; или, другими словами, такую кривую, какъ выглядѣла бы кривая D, если бы на нее смотрѣли съ противоположной стороны, т. е. возвышенія были бы широкими, а углубленія узкими.

Всѣ эти кривыя съ ихъ переходными измѣненіями,—періодичны. Другія сложныя періодичныя кривыя C, D изображены на фиг. 12; онѣ сложились изъ двухъ кривыхъ A, B, коихъ періоды находятся въ отношеніи 1 къ 3. Пунктирныя линіи суть опять таки снимки съ перваго колебанія кривой A; онѣ проведены съ тою цѣлью, чтобы читатель могъ убѣдиться, что разсматриваемыя сложныя кривыя вездѣ настолько выше или ниже A, на сколько B выше или ниже горизонтальной линіи. Въ кривой C кривыя A и B сложены такъ, какъ онѣ расположены другъ подъ другомъ; въ D, кривая B предварительно передвинута на длину полуволны вправо и затѣмъ сложена съ А. Обѣ формы различаются другъ отъ друга и отличаются отъ всѣхъ предъидущихъ. C имѣетъ широкія возвышенія и широкія углубленія; D узкія возвышенія и узкія углубленія.

Мы находили въ этихъ и въ подобныхъ имъ случаяхъ, что сложное движеніе вполнѣ и правильно періодично; это значитъ, что оно совершенно такого же рода, какъ принадлежащее одному отдѣльному звуку. Кривыя, которыя мы сложили въ нашемъ примѣрѣ, соотвѣтствуютъ движенію простыхъ тоновъ. Слѣдовательно, изображенныя

напр. движенія на фиг. 11 могутъ быть воспроизведены посредствомъ двухъ камертоновъ, изъ коихъ одинъ даетъ высшую октаву другаго. Но мы увидимъ впослѣдствіи, что достаточно даже одной слабо вдуваемой флейты, чтобы произвести движеніе воздуха, соотвѣтствующее изображенному на фиг. 11 C или D. Движенія фиг. 12

Фиг. 12.



могли бы быть воспроизведены двумя, одновременно звучащими камертонами, изъ которыхъ одинъ даетъ дуодециму другаго. Однако одна изъ наиболѣе узкихъ закрытыхъ органныхъ трубокъ (регистра квинтатъ) дала бы приблизительно также движеніе, изображенное на фиг. 12 черезъ C или D.

Слѣдовательно, движеніе воздуха въ слуховомъ проходѣ не представляетъ никакой особенности, которая бы позволяла отличить сложный звукъ отъ простаго. Если уху не способствуютъ другія случайныя обстоятельства, напр. если одинъ камертонъ начнетъ звучать раньше и немного погодя услышатъ присоединящимся къ его тону другой тонъ, что узнается ударомъ по другому камертону, или же въ иныхъ случаяхъ шумомъ воздуха при вдуваніи флейты или трубки, то не будетъ никакого признака, чтобы рѣшить простой ли звукъ или сложный.

Что же происходитъ съ ухомъ относительно подобнаго движенія воздуха? Разлагаетъ ли оно его или нѣтъ? Опытъ показываетъ, что когда два камертона звучатъ вмѣстѣ въ октавѣ или дуодецимѣ, ухо вполнѣ можетъ различить одинъ тонъ отъ другаго, хотя это различеніе нѣсколько труднѣе, чѣмъ при другихъ интервалахъ. Но если

ухо въ состояніи разложить звуковое сочетаніе двухъ камертоновъ, то ему не преминуть совершить такой же анализъ, если тоже самое движеніе воздуха воспроизведено отдѣльною флейтою или органною трубкою. Въ дѣйствительности такъ и бываетъ; простой звукъ, исходящій отъ одного изъ этихъ инструментовъ, разлагается, какъ мы уже упомянули, на частные тоны; въ нашихъ примѣрахъ, на основной тонъ и одинъ верхній тонъ.

Слѣдовательно разложеніе одного отдѣльнаго звука на рядъ частныхъ тоновъ основывается на той способности уха, посредствомъ которой оно въ состояніи отдѣлять различные звуки другъ отъ друга и это отдѣленіе должно происходить въ обоихъ случаяхъ по закону, въ которомъ не принимается вовсе во вниманіе происходятъ ли звуковыя волны отъ одного, или нѣсколькихъ музыкальныхъ орудій.

Законъ, по которому совершается анализъ ухомъ, былъ впервые основательно положенъ какъ общій Омомъ (G. S. Ohm). Объ этомъ законѣ было уже частью упомянуто въ предъидущей главѣ, когда было замѣчено, что только то движеніе воздуха производитъ въ ухѣ ощущеніе отдѣльнаго и простаго тона, которое мы обозначили именемъ простаго колебанія, т. е. при которомъ колеблющіяся частицы двигаются по закону прямаго и обратнаго движенія маятника. И такъ всякое движеніе воздуха, которое соотвѣтствуетъ сложной звуковой массѣ, можетъ быть, по закону Ома, разложено на сумму простыхъ маятникообразныхъ колебаній, при чемъ каждому такому простому колебанію соотвѣтствуетъ ощущаемый ухомъ тонъ, высота котораго опредѣляется продолжительностью колебанія соотвѣтствующаго движенія воздуха.

Доказательство точности этого закона, причины, почему среди всѣхъ формъ колебаній играетъ столь выдающуюся роль именно та, которую мы назвали простою, мы будемъ въ состояніи объяснить только впослѣдствіи, а именно, въ четвертой и шестой главѣ. Пока дѣло идетъ только о томъ, чтобы уяснить смыслъ этого закона.

Простая форма колебанія неизмѣнна и постоянно одна и таже; можетъ измѣняться только ея амплитуда и продолжительность періода. Однако изъ фигуръ 11 и 12 мы уже видѣли, что могутъ произойдти довольно разнобразныя формы только отъ сложенія двухъ простыхъ колебаній. Число этихъ формъ, не прибавляя къ нимъ новыхъ простыхъ колебаній другихъ періодовъ можетъ быть еще увеличено тѣмъ, что мы измѣнимъ взаимное отношеніе высотъ обоихъ простыхъ кривыхъ колебаній *A* и *B*, или тѣмъ, что мы кривую *B* перемѣстимъ подъ *A* на другія длины такъ, какъ мы это уже на нашихъ рисункахъ дѣлали прежде. Изъ этихъ простыхъ примѣровъ

читатель можетъ себѣ составить понятіе о томъ, какое бы получилось огромное разнообразіе формъ, если бы, вмѣсто двухъ простыхъ колебаній, мы захотѣли бы сложить большее число такихъ же колебаній, которыя бы всѣ соотвѣтствовали верхнимъ тонамъ того же основнаго тона и давали бы поэтому своимъ сложеніемъ опять-таки періодическія кривыя. Высоту каждой отдѣльной кривой мы бы могли по произволу сдѣлать больше или меньше; каждую отдѣльную кривую мы бы могли перемѣщать относительно кривой основнаго тона на любое разстояніе, или, выражаясь языкомъ физики, мы бы могли измѣнять амплитуду и разность фазъ между нею и кривою основнаго тона, при чемъ каждое такое измѣненіе амплитуды или разности фазъ дало бы новое видоизмѣненіе сложной формы колебанія.

Разнообразіе формъ колебаній, которыя могутъ быть такимъ образомъ получены сложеніемъ простыхъ маятникообразныхъ колебаній, не только что чрезвычайно велико, но оно таково, что больше быть никакъ не можетъ. Именно знаменитый французскій математикъ Фурье (Fourier) открылъ математическій законъ, который, въ примѣненіи къ изучаемому нами предмету, мы можемъ формулировать такъ: всякая произвольная правильно періодическая форма колебанія можетъ быть разсматриваема какъ сумма простыхъ колебаній, коихъ числа колебаній въ одинъ, два, три, четыре и т. д. раза больше числа колебаній даннаго движенія.

Амплитуды элементарныхъ простыхъ колебаній, которымъ въ нашихъ кривыхъ волнъ соотвѣтствуютъ высоты, и разности фазъ, т. е. горизонтальныя перемѣщенія кривыхъ волнъ относительно другъ друга, могутъ быть, какъ доказалъ Фурье, найдены для каждаго отдѣльнаго случая посредствомъ особыхъ способовъ вычисленія, непримѣнимыхъ для популярнаго изложенія; при этомъ каждое данное правильное періодическое движеніе можетъ быть выражено какъ сумма извѣстнаго числа маятникообразныхъ колебаній только однимъ, а не какимъ либо другимъ способомъ.

Но такъ какъ, по нашимъ выводамъ, правильное періодическое движеніе соотвѣтствуетъ музыкальному звуку, а одно простое маятникообразное колебаніе одному простому тону, то, употребляя акустическія обозначенія, мы можемъ выразить положеніе Фурье слѣдующимъ образомъ:

Всякое колебательное движеніе воздуха въ слуховомъ проходѣ, которое соотвѣтствуетъ музыкальному звуку, можетъ быть всегда и каждый разъ выражено какъ сумма из-

вѣстнаго числа простыхъ колебательныхъ движеній, соотвѣтствующихъ частнымъ тонамъ этого звука, только однимъ единственнымъ образомъ.

Но такъ какъ, на основаніи этихъ положеній, всякая форма колебанія, какова бы она ни была, можетъ быть выражена какъ сумма простыхъ колебаній, то ея разложеніе на такую сумму совершенно независимо относительно того, возможно ли только по виду изображенной кривой распознать глазомъ, находятся ли въ ней или нѣтъ простыя колебанія и какого они приблизительно рода. Я долженъ на это обратить вниманіе потому, что мнѣ самому случалось нерѣдко видѣть естествоиспытателей, дѣлавшихъ выводы изъ неправильнаго предположенія, что фигура колебанія должна обнаруживать малыя волны соотвѣтственно отдѣльнымъ, слышимымъ верхнимъ тонамъ. Можно уже убѣдиться изъ примѣровъ фиг. 11-й и 12-й, что глазъ можетъ увидѣть всегда сложеніе той части кривой, въ которой мы обозначили кривую основнаго тона пунктирною линіею; тамъ же гдѣ изображены части кривыхъ C и D на обѣихъ фигурахъ отдѣльно, онъ этого видѣть не можетъ. Или же, если наблюдатель, запомнившій вполнѣ точно форму отдѣльнаго колебанія, былъ бы увѣренъ въ томъ, что онъ все-таки можетъ сдѣлать это различеніе, то онъ навѣрно потерпѣлъ бы неудачу, если бы попытался различить однимъ лишь глазомъ, какимъ образомъ могли бы, напр., быть составлены кривыя, изображенныя на фиг. 8-й и 9-й. Въ нихъ попадаются прямыя линіи и острые углы. Можетъ быть спросятъ: какъ же возможно воспроизвести сложеніемъ столь мало и равномѣрно изогнутыхъ кривыхъ, каковы наши простыя кривыя волнъ A и B, фиг. 11-й и 12-й, частью прямыя линіи, частью острые углы. На это можно возразить, что для того, чтобы получить кривыя съ такими перерывами, какъ тѣ, о которыхъ идетъ рѣчь, необходимо имѣть безконечно большое число простыхъ колебаній. Но если множество такихъ кривыхъ сходятся вмѣстѣ и расположены такъ, что ихъ кривизны въ нѣкоторыхъ мѣстахъ обращены въ одну и ту же сторону, въ другихъ же мѣстахъ наоборотъ, то въ первомъ случаѣ кривизны взаимно усиливаютъ другъ друга и мы получаемъ окончательно безконечно большую кривизну, т. е. острый уголъ; во второмъ же случаѣ кривизны противодѣйствуютъ другъ другу, такъ что наконецъ получается прямая линія. Вслѣдствіе этого можно вообще придерживаться, какъ правила, того, что сила высокихъ верхнихъ тоновъ тѣмъ болѣе, чѣмъ движеніе воздуха обнаруживаетъ болѣе рѣзкіе перерывы. Тамъ же, гдѣ движеніе измѣняется равномѣрно и постепенно, соотвѣтствуя кривой колебанія, переходящей въ мягкія дугообразныя формы, сила незначительна, и замѣтную си-

лу имѣютъ только болѣе низкіе, лежащіе ближе къ основному тону, частные тоны. Но тамъ, гдѣ движеніе измѣняется порывисто, т. е. гдѣ въ кривой колебанія попадаются углы, или внезапныя измѣненія кривизны, тамъ и высокіе верхніе тоны имѣютъ уже замѣтную силу, хотя во всѣхъ этихъ случаяхъ амплитуды убываютъ тѣмъ болѣе, чѣмъ верхніе тоны выше *).

Въ пятой главѣ мы узнаемъ еще другіе примѣры разложенія данныхъ формъ колебанія на отдѣльные частные тоны.

Изъ упомянутой здѣсь теоремы Фурье пока только слѣдуетъ, что въ томъ значеніи слова, какъ мы это приняли, разсматривать звукъ, какъ сумму тоновъ, математически возможно, и дѣйствительно математики всегда находили удобнымъ принимать этотъ способъ разложенія колебаній за основаніе своихъ акустическихъ изслѣдованій. Но отсюда отнюдь еще не слѣдуетъ, что мы обязаны это разсматривать такимъ же образомъ. Мы должны скорѣе спросить, существуютъ ли въ самомъ дѣлѣ внѣ уха, въ массѣ воздуха, эти частные тоны звука, которые выдѣляетъ математическій анализъ и которые ощущаетъ ухо? Не есть ли этотъ способъ разложенія формъ колебаній, какъ его предписываетъ и дѣлаетъ возможнымъ теорема Фурье, только математическая фикція, которая только дозволяется для облегченія рѣшенія, но не нуждается непремѣнно имѣть нѣкій соотвѣтствующій дѣйствительный смыслъ? Отчего намъ приходитъ въ голову разсматривать именно маятникообразныя колебанія, какъ простѣйшій элементъ всѣхъ Звуковыхъ движеній? Мы можемъ себѣ представить цѣлое, раздѣленное на части весьма различными и произвольными способами. Въ иномъ вычисленіи мы можемъ найти болѣе удобнымъ вмѣсто числа 12 вставить сумму 8+4; но изъ этого не слѣдуетъ, что число 12 должно быть всегда обязательно разсматриваемо, какъ сумма 8-ми и 4-хъ. Быть можетъ, что въ другомъ случаѣ было бы удобнѣе разсматривать 12 какъ сумму 7-ми и 5-ти. Точно также, если мы не можемъ доказать, что указанная Фурье математическая возможность составлять всякое Звуковое движеніе изъ простыхъ колебаній имѣетъ дѣйствительный вещественный

*) Если n нумеръ по порядку одного частнаго тона, то при весьма высокихъ возрастающихъ значеніяхъ n, амплитуда верхнихъ тоновъ убываетъ: 1) если сама амплитуда колебанія быстро измѣняется, какъ $\frac{1}{n}$; 2) если измѣняется внезапно производная и слѣдовательно, кривая имѣетъ острый уголъ, какъ $\frac{1}{n \cdot n}$; 3) если измѣняется внезапно кривизна, какъ $\frac{1}{n \cdot n \cdot n}$; 4) если ни одна изъ производныхъ не будетъ прерывною то она должна уменьшиться также быстро какъ e^{-n} или же еще быстрѣе.

*

смыслъ, то это не даетъ намъ права сдѣлать выводъ, что это единственно дозволенный родъ анализа. Обстоятельство, что ухо совершаетъ такое же разложеніе, конечно уже много говоритъ въ пользу того, что упомянутое разложеніе имѣетъ значеніе, долженствовавшее бы проявиться независимо отъ всякой теоріи и въ внѣшнемъ мірѣ, точно также какъ и другое уже упомянутое обстоятельство, что при математическихъ изслѣдованіяхъ этотъ способъ разложенія оказался значительно выгоднѣе всякаго другаго, поддерживающаго тоже предположеніе, такъ какъ естественно, что тѣ способы воззрѣнія, которые соотвѣтствуютъ сущности предмета, суть также всегда и тѣ, которые даютъ самый цѣлесообразный и яснѣйшій теоретическій пріемъ. Начинать же это изслѣдованіе со свойствъ уха совѣтовать нельзя, потому что они чрезвычайно сложны и сами требуютъ объясненія; поэтому въ слѣдующей главѣ мы хотимъ сначала изслѣдовать: имѣетъ ли также, независимо отъ уха, разложеніе на простыя колебанія фактическое значеніе и въ внѣшнемъ мірѣ и будемъ ли мы въ самомъ дѣлѣ въ состояніи доказать, что опредѣленныя механическія дѣйствія зависятъ отъ того, что содержится ли въ звуковой массѣ нѣкій частный тонъ или нѣтъ. Вслѣдствіе этого существованіе частныхъ тоновъ получаетъ свое истинное значеніе и знаніе ихъ механическаго дѣйствія броситъ при этомъ новый свѣтъ на ихъ соотношенія къ человѣческому уху.

ГЛАВА III.

Анализъ звуковъ посредствомъ совмѣстнаго звучанія.

Теперь мы приступаемъ къ доказательству того, что заключающимся въ звуковой массѣ простымъ частнымъ тонамъ соотвѣствуютъ особыя механическія дѣйствія въ внѣшнемъ мірѣ, независимыя отъ человѣческаго уха и его ощущеній, независимыя отъ всякихъ теоретическихъ способовъ воззрѣній и дающихъ поэтому разсматриваемому особенному способу разложенія формъ колебаній на маятникообразныя, особый, имѣющій объективное значеніе смыслъ.

Такое дѣйствіе существуетъ въ явленіи совмѣстнаго звучанія. Это явленіе встрѣчается во всѣхъ такихъ тѣлахъ, которыя, будучи разъ приведены въ колебаніе посредствомъ какого бы то ни было способа, исполняютъ довольно продолжительный рядъ колебаній, пока опять не придутъ въ состояніе покоя. Если же таковыя тѣла будутъ настигнуты совершенно слабыми, но правильно періодическими толчками, изъ коихъ каждый въ отдѣльности слишкомъ незначителенъ для того, чтобы произвести замѣтное движеніе способнаго къ колебанію тѣла, то все-таки могутъ произойдти весьма сильныя и чувствительныя колебанія названнаго тѣла, если періодъ вышеупомянутыхъ слабыхъ толчковъ въ точности равенъ періоду его собственныхъ колебаній. Если же періодъ правильно повторяющихся толчковъ уклоняется отъ періода колебаній, то происходитъ слабое или совершенно незамѣтное движеніе.

Такіе періодическіе толчки исходятъ обыкновенно изъ другаго тѣла, находящагося въ правильныхъ колебаніяхъ; слѣдовательно по прошествіи нѣкотораго времени колебанія послѣдняго вызываютъ также колебанія вышеупомянутаго перваго. При этихъ-то обстоятельствахъ происходитъ явленіе, которое мы называемъ сoколебаніемъ или совмѣстнымъ звучаніемъ. Колебанія могутъ быть или до того быстры, что будутъ звучать, или же до того медленны, что не будутъ въ состояніи воспроизвести никакого ощуще-

нія въ ухѣ; это въ сущности нисколько не измѣняетъ вопроса. Совмѣстное звучаніе—явленіе, хорошо извѣстное музыкантамъ. Если напр. одноименныя струны двухъ скрипокъ одинаково точно настроены и если изъ одной изъ нихъ извлекутъ помощью смычка тонъ, то придетъ въ колебаніе и одноименная струна другой скрипки. Но сущность явленія можетъ быть лучше изложена въ такихъ примѣрахъ, въ которыхъ колебанія достаточно медленны для того, чтобы можно было наблюдать каждую изъ ихъ фазъ въ отдѣльности. Такъ напр. извѣстно, что самые большіе церковные колокола могутъ быть приведены въ движеніе равномѣрнымъ натягиваніемъ веревки колокола человѣкомъ, или даже мальчикомъ, при чемъ колокола могутъ быть столь большаго вѣса, что даже самый сильный человѣкъ, пытающійся ихъ вывести изъ положенія равновѣсія, приведетъ ихъ въ едва замѣтное движеніе, если не приложитъ свою силу къ движеніямъ, совершаемымъ въ опредѣленные, равномѣрные періоды. Разъ какъ такой колоколъ приведенъ въ движеніе, то онъ, подобно толкнутому маятнику, пока не придетъ въ состояніе покоя, продолжаетъ еще долго колебаться, хотя бы былъ совершенно предоставленъ самому себѣ и не было бы никакой посторонней силы для поддержанія его движенія. Конечно, его движеніе постепенно уменьшается, потому что при каждомъ отдѣльномъ колебаніи сила движенія колокола уменьшается отъ тренія осей и сопротивленія воздуха.

Одновременно съ качаніемъ колокола подымается и опускается, прикрѣпленное къ верхней части его оси, коромысло съ веревкою. Если же въ то время, когда коромысло опускается, на нижнемъ концѣ его веревки повиснетъ мальчикъ, то тяжесть его тѣла подѣйствуетъ на колоколъ такъ, что ускоритъ уже существующее его движеніе. Это ускореніе, будучи даже весьма незначительно, все-таки повліяетъ на соотвѣтствующее увеличеніе размаха колебаній колокола, которое въ свою очередь продлится нѣкоторое время, пока не уничтожится треніемъ и сопротивленіемъ воздуха. Если же мальчикъ вздумалъ бы повиснуть на веревкѣ колокола въ то время, когда она подымается, то тяжесть его тѣла противодѣйствовала бы его движенію и стала бы уменьшать размахъ колебаній колокола. Если же при каждомъ колебаніи, мальчикъ повисаетъ на веревкѣ каждый разъ, какъ она опускается и освобождаетъ ее когда она подымается, то онъ будетъ только ускорять движеніе колокола при каждомъ колебаніи и увеличивать ихъ мало по малу до тѣхъ поръ, пока движеніе, передаваемое при каждомъ колебаніи колоколомъ стѣнамъ башни и окружающему воздуху, не будетъ на столько велико, что совершенно уравновѣсится силою, расходуемою мальчикомъ при каждомъ колебаніи.

И такъ успѣхъ этого опыта, какъ видно, основывается въ сущности на томъ, что мальчикъ постоянно примѣняетъ свою силу только въ такіе моменты, въ которые онъ ею увеличиваетъ движеніе колокола. Слѣдовательно, если онъ желаетъ достигнуть цѣли, то долженъ періодически приводить свою силу въ дѣятельность, при чемъ періодъ этой дѣятельности долженъ быть равенъ періоду колебаній колокола. Мальчикъ бы могъ точно также быстро остановить движеніе, если бы онъ повисалъ на веревкѣ въ то время, когда она подымается, т. е. тяжесть его тѣла была бы поднимаема колоколомъ.

Подобнаго же рода опытъ, который можно произвести когда угодно, слѣдующій: пусть себѣ изготовятъ маятникъ, прикрѣпивъ къ нижнему концу нити тяжесть, напр. кольцо, и взявъ ее рукою за верхній конецъ, приведутъ кольцо въ медленныя качанія; при этомъ качанія можно увеличивать до весьма значительной степени, если каждый разъ, какъ маятникъ достигаетъ наибольшаго уклоненія отъ отвѣсной линіи, дѣлать весьма малое перемѣщеніе руки въ противоположную сторону. Слѣдовательно, если маятникъ наиболѣе уклонится влѣво, то руку передвигаютъ немного вправо, а если онъ находится вправо, то ее перемѣщаютъ немного влѣво. Если маятникъ находился первоначально въ покоѣ, то можно привести его въ колебанія, исполняя подобныя же весьма малыя перемѣщенія руки въ томъ тактѣ, въ которомъ маятникъ исполняетъ свои колебанія. Перемѣщенія руки могутъ быть при этомъ столь малы, что будутъ едва уловимы даже при сосредоточенномъ вниманіи; на этомъ основывается суевѣрное примѣненіе маленькаго аппарата, волшебной палочки. Дѣло въ томъ, что если наблюдатель, не думая о своей рукѣ, слѣдитъ глазами за качаніями кольца, то его рука легко слѣдуетъ за глазомъ, слѣдовательно движется невольно чуть прямо и обратно, именно какъ разъ въ томъ же тактѣ, какъ и маятникъ, когда этотъ послѣдній начинаетъ случайно немного качаться. Эти невольныя качанія руки обыкновенно упускаются изъ виду, по крайней мѣрѣ тогда, когда наблюдатель не пріученъ къ точному наблюденію такихъ незамѣтныхъ вліяній. Ими-то и увеличивается и поддерживается каждое уже существующее колебаніе маятника и ими же каждое случайное движеніе кольца легко обращается въ рядъ маятникообразныхъ колебаній, которыя повидимому наступаютъ сами собою безъ содѣйствія наблюдателя, и поэтому-то были приписаны вліянію скрытыхъ металловъ, или источниковъ и т. п.

Если же, напротивъ, движенія рукою будутъ исполнять противно тому, что предписано, то маятникъ придетъ скоро въ состояніе покоя.

Объясненіе этого опыта просто. Если верхній конецъ нити укрѣп-

ленъ неподвижно, то толкнутый разъ маятникъ продолжаетъ свои колебанія долгое время, при чемъ ихъ величина только весьма медленно уменьшается. Величину колебаній мы можемъ вообразить измѣренною угломъ, образуемымъ нитью при ея наибольшемъ отклоненіи отъ вертикальной линіи съ этою послѣднею. Если теперь привѣшенное тѣло находится въ наибольшемъ своемъ отклоненіи вправо и мы передвинемъ руку влѣво, то составимъ очевидно между нитью и вертикальною линіею большій уголъ, а слѣдовательно и большую величину размаха. Если бы мы верхній конецъ нити двигали въ противоположномъ направленіи, то умельшили бы размахъ колебаній.

Здѣсь намъ нѣтъ надобности исполнять движенія рукою въ томъ же тактѣ, какъ качается маятникъ. Для того, чтобы всё-таки произвести сильныя колебанія, намъ достаточно исполнить одно прямое и обратное движеніе рукою на три, на пять и большее число качаній маятника. Такъ напр., когда маятникъ находится вправо, мы перемѣщаемъ руку влѣво и держимъ ее въ покоѣ до тѣхъ поръ, пока маятникъ не дойдетъ до лѣваго предѣла, потомъ до праваго и наконецъ еще разъ до лѣваго; затѣмъ мы ставимъ руку въ первоначальное положеніе и ждемъ, пока маятникъ не дойдетъ до праваго предѣла и т. д. И такъ, на три качанія маятника приходится одно прямое и обратное движеніе руки. Такимъ же образомъ на одно движеніе руки мы можемъ допустить пять, семь и болѣе качаній маятника. Смыслъ этого опыта опять таки тотъ, что движеніе руки должно наступать каждый разъ только въ такое время, когда оно направлено обратно относительно уклоненія маятника и поэтому увеличиваетъ это послѣднее.

Мы можемъ также незначительно измѣнить опытъ, дѣлая на одно движеніе руки два, четыре, шесть и т. д. колебаній маятника. Если мы именно сдѣлаемъ внезапное передвиженіе руки въ то время, когда маятникъ проходитъ чрезъ вертикальную линію, то это не измѣнитъ величину колебаній. И такъ, когда маятникъ находится вправо, руку слѣдуетъ перемѣстить влѣво, что ускоряетъ его движеніе; затѣмъ пусть онъ двигается влѣво, при прохожденіи же его на возвратномъ пути чрезъ отвѣсную линію, руку снова приводятъ въ первоначальное положеніе и ожидаютъ достиженія имъ праваго конца описываемой имъ дуги, потомъ лѣваго и опять праваго; затѣмъ начинаютъ снова первоначальное движеніе рукою.

И такъ, мы можемъ произвести сильныя движенія маятника посредствомъ весьма малыхъ періодическихъ движеній руки, періодъ которыхъ равенъ, или же въ два, три, четыре и т. д. раза больше продолжительности колебанія маятника. До сихъ поръ мы разсматривали прерывающееся движеніе руки; но въ этомъ нѣтъ надобности. Оно можетъ также происходить непрерывно всякимъ другимъ произвольнымъ образомъ. При непрерывномъ движеніи руки, будутъ вообще такія мгновенія, въ которыя оно увеличитъ движеніе маятника; будутъ же и такія, въ которыя оно это движеніе уменьшитъ. Для того, чтобы привести маятникъ въ сильныя качанія, нужно чтобы ускоренія движенія постоянно превосходили и не были бы уничтожены суммою замедленій.

Если бы теперь рука исполняла опредѣленное періодическое движеніе и мы бы захотѣли опредѣлить, могутъ ли этимъ быть произведены сильныя качанія маятника, то результатъ не всегда могъ бы быть рѣшенъ съ самаго же начала, безъ вычисленія. Но теоретическая механика предписала бы для этого рѣшенія слѣдующее: періодическое движеніе руки слѣдуетъ разложить на сумму простыхъ маятникообразныхъ качаній, совершенно также, какъ мы объ этомъ сказали въ предъидущей главѣ относительно періодическихъ движеній воздушныхъ частицъ.

Если періодъ одного изъ этихъ качаній равенъ продолжительности качанія маятника, то маятникъ приводится въ сильныя качанія, въ противномъ же случаѣ нѣтъ. Однако можно сложить маленькія маятникообразныя колебанія другой продолжительности, но тогда уже не будетъ сильныхъ и продолжительныхъ качаній маятника.

Поэтому разложеніе на маятникообразныя качанія имѣетъ здѣсь особенное дѣйствительное значеніе, отъ котораго зависятъ опредѣленныя механическія дѣйствія, и для настоящей цѣли не можетъ быть допущено никакое другое разложеніе движенія руки на какія бы то ни было частныя движенія.

Въ предъидущихъ разсмотрѣнныхъ примѣрахъ маятникъ могъ соколебаться въ томъ случаѣ, когда рука двигалась въ томъ же тактѣ, въ которомъ качался маятникъ; при этомъ длиннѣйшее, простое, частное качаніе руки, соотвѣтствующее основному тону звучащаго колебанія, было однозначуще съ движеніемъ маятника. Если на одно прямое и обратное движеніе руки приходится три качанія маятника, то маятникъ былъ бы приведенъ въ движеніе третьимъ частнымъ колебаніемъ руки, соотвѣтствующимъ дуодецимѣ основнаго тона и т. д.

То что мы здѣсь изучили относительно колебаній значительной продолжительности, относится также и къ колебаніямъ столь короткой продолжительности, каковы напр. колебанія тоновъ. Всякое упругое тѣло, которое, по способу своего укрѣпленія, въ состояніи, будучи разъ приведено въ движеніе, звучать долгое время, можетъ

быть доведено до совмѣстнаго звучанія, если ему сообщается періодическое сотрясеніе сравнительно весьма малыхъ размаховъ, періодъ котораго соотвѣтствуетъ продолжительности колебанія собственнаго тона разсматриваемаго тѣла.

Нажмите слабо одну изъ клавишъ фортепіано такъ, чтобы молотокъ не ударилъ по струнѣ, но чтобы она была только освобождена отъ демпфера и пусть тонъ этой струны споютъ противъ резонанса; прекративъ пѣніе, услышать, что звучаніе даннаго тона исходитъ изъ фортепіано. Легко также удостовѣриться, что соколебаніе производится одинаково настроенною съ пропѣтымъ тономъ струною, потому что если освободить клавишу и демпферъ ляжетъ на струну, то звучаніе прекращается. Соколебаніе струны будетъ еще нагляднѣе, если на нее наложить маленькіе бумажные обрѣзки; они будутъ сброшены, какъ только струна будетъ приведена въ колебаніе. Струна колеблется тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ея тонъ спѣтъ вѣрнѣе. Весьма малое уклоненіе отъ точной высоты тона уничтожаетъ соколебаніе.

Въ этомъ опытѣ колебаніями воздуха, произведенными человѣческимъ голосомъ, поражается сначала резонансъ инструмента. Резонансъ, какъ извѣстно, состоитъ изъ широкой, гибкой, деревянной доски, которая при своей большой поверхности, можетъ лучше передать сотрясеніе струнъ воздуху и воздуха струнамъ, чѣмъ какъ это можетъ происходить непосредственно при малой поверхности соприкосновенія воздуха со струнами. Сотрясенія, сообщенныя резонансу сотрясенною тономъ пѣнія массою воздуха, онъ передаетъ прежде всего точкамъ прикрѣпленія струны, а затѣмъ уже и самой струнѣ. Правда, что величина каждаго такого отдѣльнаго сотрясенія безконечно мала; нужно, чтобы сложился продолжительный рядъ ихъ дѣйствій до того времени, пока струна не придетъ въ замѣтное движеніе; такое продолжительное сложеніе дѣйствій будетъ, какъ и въ предъидущихъ опытахъ съ колоколомъ и маятникомъ, въ томъ случаѣ, когда періодъ незначительныхъ сотрясеній, передаваемыхъ воздухомъ помощью резонанса концамъ струнъ, соотвѣтствуетъ въ точности продолжительности колебанія этихъ послѣднихъ. Если это такъ, то струна послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго ряда колебаній будетъ приведена въ болѣе сильное движеніе, пропорціонально сотрясеніямъ ея конечныхъ точекъ. Впрочемъ, вмѣсто человѣческаго голоса, мы можемъ также воспользоваться любымъ музыкальнымъ инструментомъ; если онъ можетъ издать чисто, сильно и продолжительно тонъ одной изъ фортепіанныхъ струнъ, то онъ заставитъ ее соколебаться. Вмѣсто фортепіано мы можемъ точно также пользоваться скрипкою, гитарою, арфою или другимъ струннымъ инструментомъ съ резонансомъ, или же натянутыми перепонками, коло-

колами, упругими пластинками и т. п., полагая только, что послѣднія прикрѣплены такъ, что, будучи разъ приведены въ колебанія, могутъ издать тонъ замѣтной продолжительности.

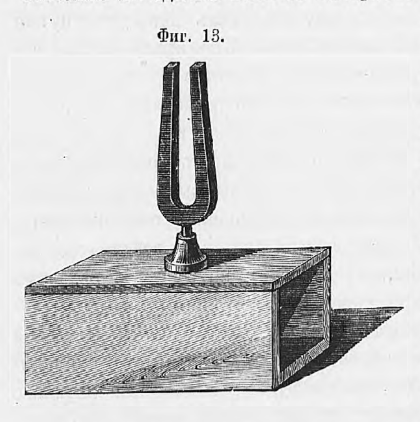
Если высота тона первоначально приведеннаго въ звучаніе тѣла не совершенно точно равна высотѣ соколеблющагося тѣла, то послѣднее еще всё-таки нерѣдко замѣтно соколеблется, но тѣмъ менѣе, чѣмъ разность высотъ тоновъ больше. Однако различныя звучащія тѣла представляютъ въ этомъ отношеніи большую разницу, смотря потому, прозвучатъ ли они, будучи разъ сотрясены и приведены въ колебаніе, болѣе или менѣе продолжительное время, пока не передадутъ своего движенія воздуху.

Тѣла незначительной массы, которыя легко передаютъ свое движеніе воздуху и быстро перестаютъ звучать, какъ напр. натянутыя перепонки, скрипичныя струны, могутъ легко быть приведены въ соколебаніе потому, что, съ другой стороны, движеніе воздуха на нихъ снова легко переносится и они также замѣтно приводятся въ движеніе такими достаточно сильными сотрясеніями воздуха, которыя имѣютъ не совсѣмъ такую же продолжительность колебанія, какъ собственный тонъ тѣла; поэтому здѣсь предѣлы высоты тоновъ, настраиваніемъ которыхъ можно вызвать соколебаніе, немного шире. Вслѣдствіе относительно большаго вліянія движенія воздуха на подобныя легкія и мало способныя къ сопротивленію упругія тѣла, ихъ собственная продолжительность колебанія можетъ быть немного измѣнена, такъ что она подойдетъ къ продолжительности колебанія возбужденнаго тона. Напротивъ, массивныя и съ трудомъ приводимыя въ движеніе упругія тѣла, передающія медленно свое Звуковое движеніе воздуху и продолжающія звучать долгое время, какъ напр. колокола и пластинки, могутъ быть также съ трудомъ приводимы въ движеніе воздухомъ. Для этого необходимо гораздо большее сложеніе вліяній, и поэтому-то, если эти тѣла хотятъ привести въ соколебаніе, необходимо выдерживать гораздо строже высоту ихъ собственнаго тона. Однако извѣстно, что можно приводить въ сильное движеніе колоколовидные стаканы, въ которые поютъ ихъ собственный тонъ; разсказываютъ даже, что пѣвцы съ сильнымъ и чистымъ голосомъ приводили такіе стаканы въ соколебаніе съ такою силою, что они лопались. Главное затрудненіе при этомъ опытѣ заключается только въ томъ, чтобы сохранить высоту тона при сильномъ напряженіи голоса такъ увѣренно, точно и продолжительно, какъ это въ этомъ случаѣ необходимо.

Въ соколебаніе труднѣе всего приводить камертоны. Для того, чтобы это было возможно, ихъ можно прикрѣплять, какъ это показываетъ Фиг. 13-я, къ усиливающимъ звукъ ящикамъ, которые сами

настроены въ тонѣ камертона. Если имѣть два подобныхъ, совершенно одинаковой продолжительности колебанія, камертона и провести по одному изъ нихъ скрипичнымъ смычкомъ, то и другой начнетъ соколебаться, если онъ даже находится въ отдаленномъ мѣстѣ той же комнаты; при этомъ заглушивъ колебанія перваго, услышатъ какъ второй будетъ продолжать звучать. Это одинъ изъ поразительнѣйшихъ случаевъ соколебанія, если сравнить приведенную въ движеніе тяжелую и крѣпкую массу стали съ легкою, уступчивою массою воздуха, которая производитъ эти дѣйствія посредствомъ такихъ незначительныхъ силъ давленій, что ея сотрясеніе не въ состояніи привести даже въ движеніе и перышка, если оно не приблизительно въ одномъ тонѣ съ камертономъ. Впрочемъ, время, которое необходимо для приведенія такихъ камертоповъ въ полное колебаніе посредствомъ соколебанія, довольно замѣтно, и малѣйшая разница въ строѣ уже достаточна для того, чтобы весьма замѣтно ослабить соколебаніе. Нужно только прилѣпить маленькій кусочекъ воска къ концу одной изъ вѣтвей втораго камертона такъ, чтобы онъ примѣрно дѣлалъ въ секунду однимъ колебаніемъ меньше другаго; этого достаточно, чтобы совершенно уничтожить соколебаніе даже и тогда, когда разница высотъ тоновъ можетъ быть едва уловима самымъ привычнымъ ухомъ.

Фиг. 13.

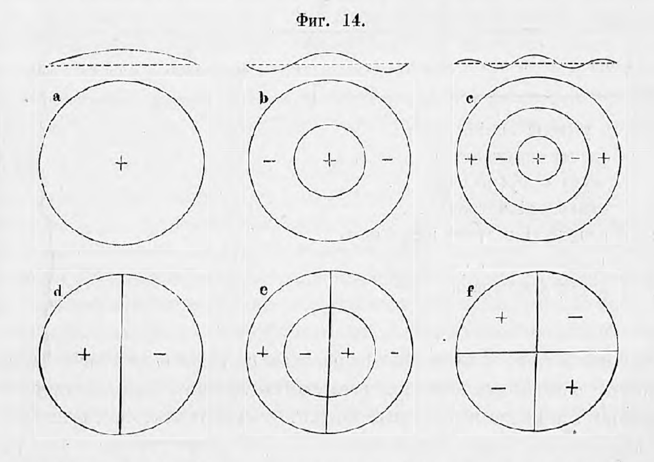


Описавъ такимъ образомъ въ общихъ чертахъ явленіе соколебанія, мы должны изслѣдовать вліяніе, которое на него производятъ различныя формы волнъ.

Сперва слѣдуетъ замѣтить, что большая часть упругихъ тѣлъ, которыя приводятся въ продолжительныя колебанія посредствомъ слабой, періодически дѣйствующей силы, исполняютъ, за немногими исключеніями, которыя будутъ описаны впослѣдствіи, маятникообразныя колебанія. Большею же частью эти тѣла могутъ однако исполнять нѣсколько родовъ такихъ колебаній, въ которыхъ различны какъ продолжительность колебанія, такъ и образъ въ какомъ колебанія распредѣлены по различнымъ частямъ колеблющагося тѣла. Слѣдовательно, различнымъ величинамъ продолжительности колебанія соотвѣтствуютъ различные тоны, которые можетъ воспроизвести такое упругое тѣло, такъ называемые собственные тоны тѣла, которые однако только въ исключительныхъ случаяхъ, какъ напр.: въ струнахъ и въ болѣе узкихъ родахъ органныхъ трубокъ, соотвѣтствуютъ своею высотою вышеупомянутымъ верхнимъ гармоническимъ тонамъ музыкальнаго звука, большею же частью они съ основнымъ тономъ не гармоничны.

Колебанія и ихъ распредѣленіе по колеблющемуся тѣлу можно во многихъ случаяхъ легко сдѣлать видимыми, осыпавъ его мелкимъ пескомъ. Возьмемъ напр.: перепонку (животный пузырь или тонкую каучуковую перепонку), натянутую на круглое кольцо. На фиг. 14-й изображены различныя формы, которыя можетъ принимать при колебаніи перепонка. Діаметры и окружности на поверхности перепонки обозначаютъ такія мѣста, называемыя **узловыми линіями**, которыя при колебаніи остаются въ покоѣ. Узловыми линіями поверхность раздѣляется на нѣкоторое число различныхъ подраздѣленій, которыя попеременно изгибаются кверху и книзу, а именно такимъ образомъ, что когда обозначенныя + изгибаются кверху, обозначенныя — изгибаются книзу. Надъ фиг. *a*, *b*, *c* изображены формы, которыя бы представляла перепонка, во время ея движенія, въ поперечномъ ея разрѣзѣ. Здѣсь изображены только тѣ формы движенія, которыя соотвѣтствуютъ нижайшимъ и наиболѣе легко воспроизводимымъ тонамъ перепонки. Впрочемъ, число окружностей и діаметровъ можетъ быть произвольно увеличено, если только перепонка для этого достаточно тонка и достаточно равномѣрно натянута; при

Фиг. 14.



этомъ условіи можно получать все высшіе и высшіе тоны. Посредствомъ насыпанія песку, изображенныя фигуры колебаній могутъ быть легко сдѣланы видимыми; какъ только перепонка начинаетъ колебаться, песокъ сосредоточивается на узловыхъ линіяхъ.

Подобнымъ же образомъ могутъ быть сдѣланы видимыми узловыя линіи и формы колебаній овальныхъ или четырехугольныхъ перепонокъ, плоскихъ упругихъ пластинокъ, различнаго вида прутьевъ и т. п. Это рядъ весьма интересныхъ явленій, которыя открыты Хладніемъ (Chladni) и болѣе подробное описаніе которыхъ отклонило бы насъ однако отъ изслѣдуемаго нами предмета. Поэтому здѣсь будетъ достаточно описать подробнѣе простѣйшій случай, а именно относящійся къ круглой перепонкѣ.

Въ то время, какъ перепонка, при формѣ колебанія *a*, дѣлаетъ 100 колебаній, число колебаній при другихъ формахъ слѣдующее:

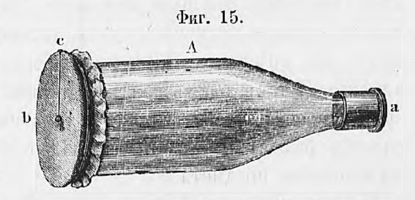
Форма колебаній.	Число колебаній.	Высота тона.
a безъ узловой линіи.	100	*c*
b съ одною окружностью	229,6	*d'* +
c » двумя окружностями.	359,9	*b'* +
d » однимъ діаметромъ	159	*as*
e » однимъ діаметромъ и съ одною окружностью.	292	*g'* —
f » двумя діаметрами	214	*cis'*

Основной тонъ я произвольно назвалъ *c*, только для того, чтобы отъ него обозначать интервалы высшихъ тоновъ. Тоны, которые на перепонкѣ немного выше показанной въ таблицѣ ноты, обозначены +; тѣ же, которые ниже, обозначены —. Здѣсь отсутствуетъ всякое раціональное отношеніе между основнымъ тономъ и остальными тонами.

Если такую перепонку осыпать тонкимъ слоемъ мелкаго песку и воспроизвести въ близости ея основной тонъ, то увидятъ, что песокъ, сотрясенный отъ колебаній перепонки, будетъ сбѣгаться и собираться къ краямъ. Если издаютъ другой тонъ перепонки, то песокъ собирается въ соотвѣтствующихъ узловыхъ линіяхъ, и отсюда можно легко узнать, которому изъ своихъ тоновъ перепонка отвѣтила. Пѣвецъ, который умѣетъ хорошо воспроизводить тоны перепонки, можетъ по произволу легко привести песокъ издали въ тотъ или другой порядокъ тѣмъ, что онъ только сильно воспроизведетъ соотвѣтствующіе тоны. Однако вообще, болѣе простыя фигуры низкихъ тоновъ воспроизводятся легче, чѣмъ сложныя высшихъ. Перепонку

легче всего привести въ общее движеніе, издавая ея основной тонъ, и по этой-то причинѣ въ акустикѣ часто употребляли подобныя перепонки для того, чтобы доказать присутствіе опредѣленнаго тона въ опредѣленномъ мѣстѣ воздушной среды. Для достиженія этого результата, перепонку лучше всего соединить съ какою либо воздушною средою. *A* (фиг. 15) стеклянная бутылка, коей горлышко открыто въ *a*; ея дно уничтожено и на его мѣстѣ натянута перепонка (мокрый свиной пузырь, который, послѣ того какъ онъ былъ натянутъ и укрѣпленъ, оставляютъ сохнуть). Въ *c* укрѣплена воскомъ шелковинка, къ которой прилѣпленъ маленькій сургучный шарикъ. Этотъ послѣдній виситъ какъ маятникъ и прилегаетъ къ перепонкѣ. Какъ только перепонка приходитъ въ колебаніе, маленькій маятникъ съ силою отскакиваетъ. Примѣненіе такого маленькаго маятника весьма удобно, если не приходится опасаться смѣшиванія основнаго тона перепонки съ другимъ ея собственнымъ тономъ. Песокъ улетучивается, тогда какъ только что упомянутый аппаратъ всегда можетъ выполнять свое назначеніе. Если же хотятъ явственно различать тоны, которые приводятъ перепонку въ колебаніе, то слѣдуетъ поставить бутылку горлышкомъ внизъ и на перепонку насыпать песокъ. Если же впрочемъ бутылка имѣетъ должную величину и перепонка вездѣ равномѣрно натянута и укрѣплена, то воспроизводится легко только основной тонъ перепонки, немного измѣненный соколеблющеюся воздушною массою бутылки. Основной тонъ перепонки понижаютъ тѣмъ, что берутъ бо́льшую перепонку или бо́льшіе размѣры бутылки, или натягиваютъ перепонку слабѣе, или же наконецъ съуживаютъ отверстіе бутылки.

Фиг. 15.



Подобная перепонка, будучи свободна или натянута надъ дномъ бутылки, приходитъ въ колебанія не только посредствомъ звуковъ, коихъ высота равна высотѣ ея собственнаго тона, но также и посредствомъ такихъ звуковъ, въ которыхъ собственный тонъ перепонки заключается какъ верхній тонъ. Вообще, если въ воздухѣ скрещивается произвольное число волновыхъ системъ, то для того, чтобы узнать, будетъ ли перепонка соколебаться, слѣдуетъ себѣ вообразить движеніе воздуха разложеннымъ математически на сумму маятникообразныхъ колебаній въ томъ мѣстѣ, гдѣ перепонка. Если среди послѣднихъ есть членъ, коего продолжительность колебанія равняется продолжительности колебанія одного изъ тоновъ

перепонки, то получится соотвѣтствующая форма колебанія перепонки. Если же при подобномъ разложеніи движенія воздуха недостаютъ соотвѣтствующіе тонамъ перепонки члены, или же они слишкомъ малы, то она остается въ покоѣ.

Слѣдовательно, мы находимъ и здѣсь, что разложеніе движенія воздуха на маятникообразныя колебанія и существованіе извѣстнаго рода этихъ колебаній, вліяетъ рѣшительно на соколебаніе перепонки; кромѣ того, это разложеніе на маятникообразныя колебанія нельзя замѣнить никакимъ другимъ подобнымъ разложеніемъ движенія воздуха. Маятникообразныя колебанія, на которыя можетъ быть разложено сложное движеніе воздуха, являются здѣсь способными дѣйствовать въ внѣшнемъ мірѣ, независимо отъ уха и математическаго анализа. И такъ, этимъ подтверждается то, что теоритическое умозрѣніе, посредствомъ котораго математики пришли впервые къ этому способу разложенія сложныхъ колебаній, дѣйствительно основано на сущности предмета.

Я здѣсь прилагаю, какъ примѣръ, описаніе одного опыта: бутылка въ родѣ изображенной на фиг. 15, обтянутая тонкою вулканизированною каучуковою перепонкою, колеблющаяся часть которой имѣла въ діаметрѣ 49 милиметровъ, тогда какъ высота бутылки была въ 140 милиметровъ, а латунная оправа имѣла отверстіе въ 13 миллиметровъ, давала при вдуваніи *fis'*, при чемъ песокъ накоплялся въ кругъ близь краевъ перепонки. Когда я издавалъ на фисгармоникѣ тотъ же тонъ *fis'*, или его низшую октаву *fis*, или низшую дуодециму *H*, то получался тотъ же кругъ; *Fis* и *D* давали тотъ же кругъ слабѣе. Упомянутый *fis'* перепонки есть основной тонъ звука фисгармоники *fis'*, первый верхній гармоническій тонъ отъ *fis* второй отъ *H*, третій отъ *Fis*, четвертый отъ *D*. Поэтому то всѣ эти ноты, будучи ударены, могли привести перепонку въ движеніе, а именно въ формѣ ихъ нижайшаго тона. Второй меньшій кругъ получался на перепонкѣ посредствомъ *h'*, при діаметрѣ въ 19 миллиметровъ; такой же кругъ получается слабѣе посредствомъ *h*; едва замѣтный кругъ посредствомъ нижайшей дуодецимы *e*, слѣдовательно посредствомъ тоновъ, коихъ числа колебаній составляютъ $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ *h*.

Такія натянутыя перепонки весьма годны для этихъ и подобныхъ опытовъ надъ частными тонами сложныхъ звуковыхъ массъ. Онѣ имѣютъ то большое преимущество, что при ихъ употребленіи ухо совсѣмъ не участвуетъ въ опытѣ, но за то онѣ не очень чувствительны для слабѣйшихъ тоновъ. Въ чувствительности ихъ значительно превосходятъ упомянутые мною резонаторы; это суть стеклянные или металлическіе пустые шары или трубки съ двумя отверстіями, изображенные на фиг. 16 *a* и фиг. 16 *b*. Одинъ выступъ

съ отверстіемъ *a* имѣетъ плоско-срѣзанные края; другой же съ отверстіемъ *b* воронкообразный и сдѣланъ такъ, что его можно вставлять въ ухо. Послѣдній я имѣю обыкновеніе обводить растопленнымъ сургучемъ, и когда онъ настолько остынетъ, что его хотя и можно безопасно трогать пальцами, но, тѣмъ не менѣе, онъ все-таки мягокъ, я вставляю этотъ выступъ въ слуховой проходъ. Тогда сургучъ принимаетъ форму внутренней поверхности послѣдняго, и когда впослѣдствіи приставляютъ шаръ къ уху, то онъ закупориваетъ его легко и совершенно плотно.

Фиг. 16 a.

Фиг. 16 b.

Такой резонаторъ весьма схожъ въ общемъ съ описанною выше бутылкою-резонаторомъ, только здѣсь барабанная перепонка наблюдателя замѣняетъ примѣненную тамъ искусственную упругую перепонку.

Воздушная масса такого резонатора въ связи съ воздухомъ слуховаго прохода и съ барабанною перепонкою составляетъ упругую систему, которая способна къ особеннымъ колебаніямъ; въ особенности же посредствомъ совмѣстнаго звучанія воспроизводится съ большою силою основной тонъ шара, который значительно ниже всѣхъ другихъ его собственныхъ тоновъ. Ухо, будучи въ непосредственной связи съ внутреннимъ воздухомъ шара, воспринимаетъ этотъ усиленный тонъ непосредственно. Если заткнуть себѣ одно ухо (лучше всего сургучною капелькою слѣпленною по формѣ слуховаго прохода) и приставить къ другому такой резонаторъ, то большинство издаваемыхъ вокругъ насъ тоновъ услышатъ гораздо слабѣе обыкновеннаго; наоборотъ, если издается собственный тонъ резонатора, то онъ отражается въ ухѣ съ огромною силою. Вслѣдствіе этого всякая особа, даже съ совершенно музыкально неразвитымъ или тугимъ ухомъ, въ состояніи разслышать, въ значительномъ числѣ другихъ тоновъ даже довольно слабый тонъ, попадающій въ

резонаторъ; иногда даже замѣчаютъ, что тонъ резонатора выдѣляется въ шумѣ вѣтра, въ шумѣ колесъ ѣдущаго экипажа, въ плескѣ воды и т. п. Поэтому то резонаторы, о которыхъ идетъ рѣчь, составляютъ гораздо болѣе чувствительный аппаратъ; чѣмъ упомянутыя прежде перепонки. Если воспринимаемый тонъ весьма слабъ относительно сопровождающихъ его тоновъ, то выгодно попеременно то прикладывать резонаторъ къ уху, то снова его удалять. При этомъ легко замѣтятъ, проявится ли тонъ резонатора во время прикладыванія или нѣтъ, тогда какъ тонъ, продолжающійся равномѣрно, замѣчаютъ не такъ легко.

По этой причинѣ рядъ такихъ, опредѣленной настройки резонаторовъ есть важное средство, позволяющее съ одной стороны, производить непривычному уху множество изслѣдованій, при которыхъ дѣло состоитъ въ томъ, чтобы ясно замѣтить отдѣльные слабые тоны рядомъ съ другими болѣе сильными, каковы комбинаціонные тоны, верхніе гармоническіе тоны и рядъ другихъ явленій, относящихся къ аккордамъ, которыя будутъ описаны впослѣдствіи и для наблюденія которыхъ безъ такой помощи требуется привычное музыкальное ухо, или весьма строгое сообразно съ этою цѣлью усиленное напряженіе вниманія; поэтому упомянутыя до сихъ поръ явленія были доступны наблюденію только немногихъ лицъ, и существовало множество физиковъ и даже музыкантовъ, которымъ никогда не удавалось ихъ различать. Съ другой стороны и привычному музыкальному уху, подкрѣпленному резонаторомъ, удается продолжить анализъ массы тоновъ гораздо далѣе, чѣмъ это возможно достигнуть безъ резонатора. Безъ нихъ мнѣ было бы трудно дѣлать наблюденія, которыя будутъ описаны впослѣдствіи, такъ увѣренно и точно, какъ я это могъ *).

Здѣсь однако слѣдуетъ замѣтить, что ухо слышитъ тонъ, попадающій въ резонаторъ, сильнѣе потому, что онъ получаетъ большее напряженіе въ воздушной массѣ резонатора. Впрочемъ математическій анализъ движенія воздуха учитъ, что пока мы имѣемъ дѣло съ достаточно малыми колебаніями, воздухъ въ резонаторѣ исполняетъ маятникообразныя колебанія совершенно такихъ же періодовъ, какъ и внѣшній воздухъ, а никакія либо другія, и что только сила тѣхъ маятникообразныхъ колебаній, коихъ періодъ соотвѣтствуетъ собственному тону резонатора, достигаетъ значительнаго дѣйствія; сила же всѣхъ остальныхъ тоновъ тѣмъ незначительнѣе, чѣмъ ихъ высота болѣе отклоняется отъ силы собственнаго тона. Ухо, соединенное съ

*) Относительно размѣровъ и изготовленія резонаторовъ смотри приложеніе II.

резонаторомъ, подлежитъ здѣсь разсмотрѣнію не болѣе какъ въ томъ, что его барабанная перепонка служитъ къ замыканію воздушной массы резонатора. Въ теоретическомъ отношеніи этотъ аппаратъ совершенно однороденъ съ прежде описанною бутылкою съ колеблющеюся перепонкою, фиг. 15; но только его чувствительность значительно усиливается тѣмъ, что упругая перепонка резонатора есть одновременно и барабанная перепонка уха, находящаяся въ непосредственной связи съ чувствующими нервами этого органа. Слѣдовательно мы получаемъ сильный тонъ въ резонаторѣ только тогда, когда, при разложеніи воздушнаго движенія внѣшней среды на маятникообразныя колебанія, встрѣтится одно маятникообразное колебаніе съ періодомъ собственнаго тона резонатора, и здѣсь опять-таки никакое другаго рода разложеніе, какъ на маятникообразныя колебанія, не дало бы вѣрный результатъ.

Въ приведенныхъ свойствахъ резонаторовъ можно легко удостовѣриться посредствомъ опытовъ. Приставимъ одинъ изъ такихъ резонаторовъ къ уху и пусть будетъ исполнена какимъ либо музыкальнымъ инструментомъ многоголосная пьеса, въ которую бы часто входилъ собственный тонъ резонатора; каждый разъ какъ этотъ тонъ будетъ воспроизведенъ, ухо, вооруженное резонаторомъ, услышитъ его рѣзко выдѣляющимся отъ всѣхъ другихъ тоновъ аккорда.

Однако ухо слышитъ его часто слабѣе, а именно въ то время когда издаются болѣе низкіе тоны; при этомъ ближайшее изслѣдованіе показываетъ, что сказанное случается именно тогда, когда издаются звуки, къ верхнимъ гармоническимъ тонамъ которыхъ принадлежитъ собственный тонъ резонатора. Подобные нижайшіе звуки называютъ **нижними гармоническими тонами** резонатора. Это суть звуки, коихъ періодъ колебанія въ 2, 3, 4, 5 и т. д. разъ больше періода колебанія резонатора. Слѣдовательно, если этотъ послѣдній есть напр. c'', то слышатъ его звучаніе, когда музыкальный инструментъ издаетъ: c', f, c, As, F, D, C, и т. д. Въ этихъ случаяхъ резонаторъ звучитъ посредствомъ одного изъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ звука, изданнаго во внѣшней воздушной средѣ. Однако надо замѣтить, что верхніе гармоническіе тоны не всегда попадаются въ звукахъ отдѣльныхъ инструментовъ и что въ различныхъ инструментахъ они имѣютъ также весьма различныя силы. При тонахъ скрипокъ, фортепіано, фисгармоники наиболѣе сильно звучатъ первые 5 или 6. Касательно верхнихъ гармоническихъ тоновъ струнъ болѣе точное изслѣдованіе будетъ въ слѣдующей главѣ. Нечетные тоны на фисгармоникѣ большею частью сильнѣе четныхъ. Точно также посредствомъ резонатора слышатъ явственно верхніе тоны че-

*

ловѣческаго голоса, которые однако разной силы для различныхъ гласныхъ. Къ этому мы еще возвратимся впослѣдствіи.

Среди тѣлъ, способныхъ къ сильнымъ соколебаніямъ, надо назвать еще струны, находящіяся въ связи съ резонансомъ, какъ напр. у фортепіано.

Струны только тѣмъ нѣсколько отличаются отъ упомянутыхъ до сихъ поръ соколеблющихся тѣлъ, что ихъ различныя формы колебаній даютъ тоны, соотвѣтствующіе верхнимъ гармоническимъ тонамъ основнаго тона, тогда какъ верхніе тоны, получающіеся посредствомъ перепонокъ, колоколовъ, прутьевъ и т. д., при другой формѣ колебанія, не гармоничны съ основнымъ тономъ, а воздушныя массы резонаторовъ даютъ только очень высокіе по большей части верхніе не гармоническіе тоны, коихъ усиленіе въ резонаторѣ весьма незначительно.

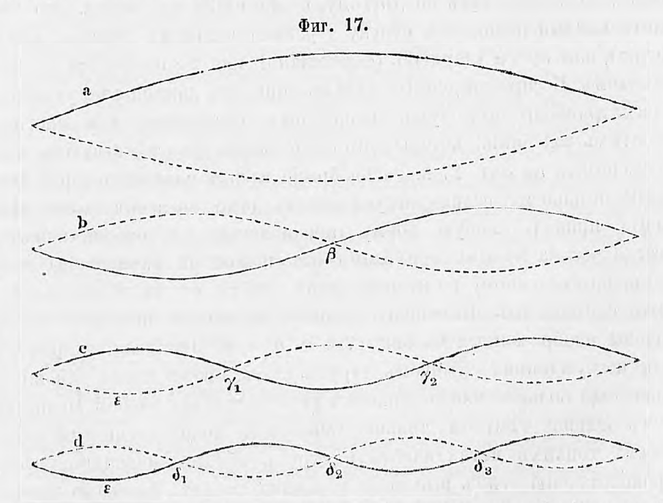
Колебанія струнъ можно изучать либо на слабо натянутыхъ, не звучащихъ упругихъ нитяхъ, коихъ колебанія такъ медленны, что за ними можно слѣдить рукою и глазомъ, либо на звучащихъ струнахъ, каковы напр., струны фортепіано, гитары, монохорда или скрипки. Первыя,—не звучащія струны изготовляютъ изъ длинной спиральной пружины, въ видѣ тонкой латунной проволоки, отъ 6 до 10 футовъ длины. Такая струна слабо натягивается и укрѣпляется за оба конца. Она можетъ исполнять колебанія весьма большой амплитуды и чрезвычайно правильныя, которыя могутъ быть легко видимы большою аудиторіею. Если близъ одного изъ концовъ струны двигать ее пальцемъ прямо и обратно въ надлежащемъ тактѣ, то возбудятъ ея колебанія.

Струна можетъ быть первоначально приведена въ колебанія, какъ это показываетъ фиг. 17-я, такъ что ея форма при удаленіи отъ положенія равновѣсія будетъ постоянно равна формѣ простой полуволны. При этомъ струна даетъ только одинъ тонъ, а именно низшій изъ всѣхъ, который она можетъ воспроизвести, при чемъ нельзя различить ея верхнихъ гармоническихъ тоновъ.

Однако струна можетъ также принять во время движенія формы фиг. 17-й b, c, d. Въ этихъ фигурахъ форма струны равна двумъ, тремъ, четыремъ полуволнамъ простой волновой линіи. При формѣ колебанія b струна не даетъ никакого другаго тона, какъ высшую октаву ея основнаго тона; при c дуодециму, при d вторую октаву. Пунктирною линіею изображено положеніе струны по прошествіи половины времени колебанія. У b точка β струны остается совершенно

въ покоѣ, у c, двѣ точки, именно γ_1 и γ_2, у d три точки δ_1, δ_2, δ_3. Эти точки называются узловыми точками. На колеблющейся латунной спирали ихъ узнаютъ весьма легко глазомъ; на звучащей струнѣ онѣ узнаются тѣмъ, что наложенныя на нее маленькіе бумажные обрѣзки сбрасываются съ движущихся мѣстъ струны, тогда какъ на узловыхъ точкахъ они остаются въ покоѣ. Слѣдовательно, если струна раздѣлена посредствомъ узловой точки на двѣ колеблющіяся части, то она дастъ тонъ, коего число колебаній вдвое больше числа колебаній основнаго тона. При трехъ частяхъ, число колебаній втрое больше, при четырехъ—вчетверо. Латунную спираль можно довести до колебанія въ этихъ различныхъ формахъ, если ее равномѣрно двигаютъ въ тактѣ или пальцемъ близъ одного изъ ея концовъ, а именно для формы a въ тактѣ ея медленнѣйшихъ колебаній, для b вдвое скорѣе, для c втрое, для d вчетверо, или же одну изъ узловыхъ точекъ, ближайшую къ концу струны нажимаютъ слегка пальцами и дергаютъ ее между этою узловою точкою и ближайшимъ концомъ струны. Слѣдовательно, если въ фиг. 17 c придерживаютъ γ_1 или въ фиг. 17 d—δ_1 то дергаютъ въ ε; тогда при колебаніи обозначаются также и другія узловыя точки.

Фиг. 17.



На звучащей струнѣ воспроизводятъ формы колебаній, фиг. 17, всего чище, если поставятъ на ея резонансъ ударенный камертонъ, который даетъ тонъ, относящійся къ соотвѣтствующей формѣ колебанія. Если хотятъ возстановить только опредѣленное число узловыхъ точекъ, не требуя, чтобы отдѣльныя точки струны исполняли

простыя колебанія, то достаточно тронуть одну изъ требуемыхъ узловыхъ точекъ слегка пальцемъ и ударить струну или провести по ней смычкомъ. Посредствомъ дотрогиванія до струны пальцемъ заглушаютъ всѣ тѣ ея собственныя простыя колебанія, которыя не имѣютъ узловой точки въ тронутомъ мѣстѣ и остаются только тѣ, которыя тамъ оставляютъ струну въ покоѣ.

Число узловыхъ точекъ при длинныхъ тонкихъ струнахъ можетъ сдѣлаться весьма значительнымъ, пока наконецъ части струны между каждыми двумя узловыми точками сдѣлаются слишкомъ короткими и не упругими для того, чтобы звучать; поэтому весьма тонкія струны даютъ болѣе высокіе тоны, чѣмъ толстыя. На скрипкѣ, на низкихъ фортепіанныхъ струнахъ, можно пожалуй еще получить тоны съ десятью дѣленіями струны; на весьма тонкихъ металлическихъ струнахъ можно даже воспроизвести 16 и 20 дѣленій струны.

Описанныя до сихъ поръ формы колебанія струнъ суть тѣ, при которыхъ каждая точка струны движется въ прямомъ и обратномъ маятникообразномъ колебаніи. Поэтому эти движенія всегда возбуждаютъ въ ухѣ только ощущеніе одного отдѣльнаго тона. При всѣхъ другихъ формахъ движенія струнъ, колебанія не просто маятникообразны, но происходятъ по другому, болѣе сложному закону. Это бываетъ каждый разъ, какъ струну дергаютъ пальцемъ (гитара, арфа, цитра), или же ее ударяютъ (фортепіано), или же проводятъ по ней смычкомъ. Воспроизведенныя такимъ образомъ движенія могутъ быть разсматриваемы какъ будто бы они были составлены изъ многихъ простыхъ колебаній, которыя въ отдѣльности соотвѣтствуютъ изображеннымъ на фиг. 17-й. Разнообразіе такихъ сложныхъ формъ движенія безконечно велико; струна можетъ даже во время своего движенія принять любую форму (предполагая, что ограничиваются всегда весьма малыми предѣлами отъ положенія равновѣсія), такъ какъ, по сказанному во второй главѣ, любая форма волны можетъ быть сложена изъ нѣкотораго количества такихъ простыхъ волнъ, каковы изображенныя на фиг. 17-й *a*, *b*, *c*, *d*. Дернутая, ударенная, или возбужденная смычкомъ струна даетъ, кромѣ своего основнаго тона, еще большое число верхнихъ гармоническихъ тоновъ, которыхъ тѣмъ больше, чѣмъ она тоньше. Особенный колокольчиковый звукъ весьма тонкихъ металлическихъ струнъ обязанъ очевидно своему происхожденію этимъ высокимъ верхнимъ тонамъ. Помощью резонатора можно легко различить эти тоны до шестнадцатаго. Болѣе высокіе сходятся слишкомъ близко, такъ что ихъ трудно удовлетворительно отдѣлять другъ отъ друга.

Слѣдовательно, если струна приведена въ соколебаніе посредствомъ музыкальнаго звука, который былъ возбужденъ въ окружающей насъ воздушной средѣ, то возбуждается вообще одновременно цѣлый рядъ разнообразныхъ простыхъ формъ колебаній струны. Именно, если основной тонъ звука отвѣчаетъ основному тону струны, то и всѣ верхніе гармоническіе тоны звука отвѣчаютъ таковымъ же струны и могутъ поэтому возбудить соотвѣтствующую форму струны. Вообще струна будетъ приведена колебаніями воздуха въ соколебаніе каждый разъ, какъ въ разложеніи этихъ колебаній на простыя попадутся члены, коихъ періодъ колебанія соотвѣтствуетъ одному изъ тоновъ струны. Но если одинъ такой членъ имѣется на лицо, то кромѣ его существуетъ еще нѣсколько другихъ, отчего во многихъ случаяхъ трудно узнать, посредствомъ какихъ тоновъ изъ тѣхъ, которые струна можетъ издать, она приведена въ движеніе. По этой причинѣ обыкновенныя струны не такъ хороши для употребленія, какъ перепонки или воздушныя массы резонаторовъ для того, чтобы посредствомъ ихъ соколебанія находить существующіе въ звуковой массѣ тоны.

Для производства опытовъ соколебанія струнъ на фортепіано, подымаютъ крышку инструмента для того, чтобы струны могли звучать свободно; затѣмъ нажимаютъ медленно клавишу той струны, которая должна соколебаться, положимъ *c'*, но такъ, чтобы молотокъ не произвелъ удара и поперекъ струны *c'* кладутъ маленькую щепочку. При этомъ опытѣ найдутъ, что щепочка приходитъ въ движеніе и даже сбрасывается, если ударяютъ по другимъ извѣстнымъ струнамъ фортепіано; движеніе щепочки самое сильное, если ударяется одинъ изъ нижнихъ гармоническихъ тоновъ *c'*, т. е. *c*, *F*, *C*, As_1, F_1, D_1 или C_1. Если будетъ ударенъ одинъ изъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ *c'*,—*c''*, *g''* или *c'''*, то произойдетъ болѣе умѣренное движеніе; однако если въ послѣднемъ случаѣ положатъ щепку на соотвѣтствующія узловыя точки струны, то она остается въ покоѣ. Если ее, напр., положатъ на средину струны, то она остается въ покоѣ при *c''* и *c'''* и двигается при *g''*. Если ее кладутъ на $1/3$ длины струны, то она остается въ покоѣ при *g''* и двигается при *c''* и *c'''*. Наконецъ струна *c'* можетъ также быть приведена въ движеніе, если воспроизведутъ нижній гармоническій тонъ одного изъ ея верхнихъ гармоническихъ тоновъ, напр. ноту *f*, коей третій частный тонъ *c'*, тоже, что второй отъ *c'*. Если положить щепку на средину струны гдѣ находится узловая точка тона *c''*, то и здѣсь она останется въ покоѣ. Если воспроизводятъ *g'*, *g* или *es*, имѣющіе съ *c'* общій верхній гармоническій тонъ *g''*, то струна *c'* движется также, но даетъ двѣ узловыя точки.

Я еще замѣчу, что на фортепіано, гдѣ одинъ изъ концовъ струны обыкновенно закрытъ, положеніе узловыхъ точекъ находятъ легко,

если слегка нажмутъ пальцемъ обѣ струны воспроизводимаго тона и ударятъ клавишу. Если пальцемъ дотрогиваются до одной изъ узловыхъ точекъ, то соотвѣтствующій верхній гармоническій тонъ звучитъ чисто и громко. Въ противномъ случаѣ тонъ струны вялъ и плохъ. Пока возбуждается только одинъ верхній гармоническій тонъ струны c', можно найдти соотвѣтствующія узловыя точки и этимъ распознать, какая изъ ея формъ колебаній возбуждена. Но описанные механическіе способы не позволяютъ достигнуть этого результата, если возбуждаются одновременно два верхніе гармоническіе тона, напр. c'' и g'', когда эти обѣ ноты ударяются одновременно; въ этомъ случаѣ вся струна приводится въ движеніе.

Но если явленія струнъ и кажутся болѣе запутанными для наблюденія, то тѣмъ не менѣе ихъ соколебаніе все-таки подвергается тому же закону, какъ и резонаторовъ, перепонокъ и другихъ упругихъ тѣлъ. Соколебаніе всегда разрѣшается разложеніемъ наличныхъ Звуковыхъ движеній на простыя маятникообразныя колебанія.

Если періодъ одного изъ этихъ колебаній согласуется съ періодомъ одного изъ собственныхъ тоновъ упругаго тѣла, (будь это только струна, перепонка или масса воздуха), то оно будетъ приведено въ сильное соколебаніе.

Вслѣдствіе этого, для разложенія Звуковаго движенія на простыя маятникообразныя колебанія, получается истинное значеніе, которое бы не соотвѣтствовало всякому другому подобному разложенію.

Всякая отдѣльная простая волнообразная система маятникообразныхъ колебаній существуетъ какъ одно самостоятельное механическое цѣлое; она расширяется, приводитъ другія упругія тѣла съ соотвѣтствующимъ собственнымъ тономъ въ движеніе, совершенно независимое отъ распространяющихся одновременно другихъ простыхъ тоновъ, имѣющихъ другую высоту и которые могутъ исходить изъ того же или другаго звучащаго источника. Всякій отдѣльный тонъ можетъ быть тогда также, какъ мы это видѣли, уединенъ отъ звуковой массы посредствомъ чисто механическихъ средствъ, а именно посредствомъ совмѣстно звучащихъ тѣлъ. Слѣдовательно всякій отдѣльный частный тонъ существуетъ въ звукѣ, издаваемомъ отдѣльнымъ музыкальнымъ инструментомъ, также точно и въ томъ же смыслѣ, какъ напр. существуютъ различные цвѣта радуги въ бѣломъ лучѣ, исходящемъ изъ солнца или изъ какого нибудь раскаленнаго тѣла. Свѣтъ есть также колеблющееся движеніе особаго упругаго медіума, свѣтоваго эѳира, подобно тому какъ Звукъ есть движеніе воздуха. Въ бѣломъ свѣтовомъ лучѣ существуетъ родъ движенія, который можетъ быть разсматриваемъ какъ сумма многихъ періодическихъ движеній различной продолжительности колебанія, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ цвѣтамъ солнечнаго спектра. Однако естественно, что каждая частица эѳира, точно также какъ и каждая частица воздушной среды, пересѣченной многими волнообразными звучащими системами, имѣетъ въ данное мгновеніе, только одну опредѣленную скорость и одно опредѣленное уклоненіе отъ своего положенія равновѣсія. Натурально, что дѣйствительно существующее движеніе каждой частицы эѳира можетъ быть всегда только единственное; если мы его теоретически разсматривали сложеннымъ, то это въ извѣстномъ смыслѣ произвольно. Но и свѣтовое волнообразное движеніе можетъ быть разложено помощью внѣшнихъ механическихъ средствъ на системы волнъ, соотвѣтствующихъ отдѣльнымъ цвѣтамъ, будетъ ли это посредствомъ преломленія въ призмѣ, или посредствомъ тонкихъ сѣтокъ, чрезъ которыя пропускаютъ свѣтъ; при этомъ всякая простая волнообразная система свѣта, отвѣчающая одному простому цвѣту, существуетъ механически сама по себѣ и независима отъ всѣхъ другихъ цвѣтовъ.

Слѣдовательно, когда мы различаемъ въ звукѣ отдѣльной ноты какого бы то ни было музыкальнаго инструмента многіе частные тоны, то мы не имѣемъ права это себѣ объяснить обманомъ слуха или воображеніемъ, какъ это мнѣ объясняли нѣкоторые музыканты, несмотря на то, что они сами хорошо слышали эти тоны. Въ такомъ случаѣ, мы должны были бы также считать за обманъ чувствъ цвѣта спектра, получаемые изъ бѣлаго свѣта. Дѣйствительное объективное существованіе частныхъ тоновъ можетъ быть доказано во всякое время посредствомъ соколеблющейся перепонки, разбрасывающей въ этомъ случаѣ покрывающій ее песокъ.

Въ заключеніе еще замѣчу, что въ этой главѣ я долженъ былъ не рѣдко ссылаться, касательно условій, отъ которыхъ зависитъ совмѣстное звучаніе, на механическую теорію движенія воздуха. Такъ какъ въ ученіи о Звуковыхъ волнахъ дѣло идетъ о хорошо извѣстныхъ механическихъ силахъ, именно о давленіи воздуха и движеніи матеріальныхъ воздушныхъ частицъ, а не о какомъ нибудь гипотетическомъ объясненіи, то въ этой области знанія теоретическая механика будетъ въ полномъ неоспоримомъ авторитетѣ; правда, что ея выводы должны быть приняты читателемъ, не посвященнымъ въ математическія науки, на вѣру. Экспериментальный путь изслѣдованія относящихся сюда вопросовъ будетъ описанъ въ слѣдующей главѣ, въ которой предстоитъ установить законы разложенія звуковъ ухомъ. Доказательство путемъ опыта можетъ быть дѣлаемо совершенно также, какъ для соколеблющихся перепонокъ и воздушныхъ массъ, такъ и для уха; отсюда выводится тожество законовъ для обоихъ случаевъ.

ГЛАВА IV.

О разложенiи звуковъ посредствомъ уха.

Въ предъидущей главѣ было уже нѣсколько разъ упомянуто, что музыкальные звуки разлагаются также, безъ посредства особыхъ аппаратовъ, однимъ лишь человѣческимъ ухомъ, на рядъ частныхъ тоновъ, соотвѣтствующихъ простымъ маятникообразнымъ колебанiямъ массы воздуха, слѣдовательно на тѣ же составныя части, на которыя разлагается также движенiе воздуха посредствомъ совмѣстно звучащихъ упругихъ тѣлъ. Теперь мы приступаемъ къ доказательству правильности этого предположенiя.

Тотъ, кто въ первый разъ пытается распознать верхнiе гармоническiе тоны музыкальнаго звука, испытываетъ обыкновенно значительное затрудненiе, чтобы только ихъ разслышать.

Если анализъ нашихъ чувственныхъ ощущенiй не можетъ включить соотвѣтствующихъ различiй внѣшняго объекта, то онъ наталкивается на особыя препятствiя, сущность и значенiе которыхъ мы обсудимъ подробнѣе впослѣдствiи. Надо принять за правило, что вниманiе наблюдателя должно быть обращено на наблюдаемое явленiе, пока онъ его совершенно не постигнетъ, посредствомъ особыхъ, соотвѣтственно избранныхъ вспомогательныхъ средствъ; разъ какъ явленiе усвоено, онъ можетъ обойтись и безъ нихъ. Подобныя затрудненiя представляются также и при наблюденiи верхнихъ гармоническихъ тоновъ звука. Я сейчасъ дамъ описанiе такихъ способовъ, посредствомъ которыхъ непривычному наблюдателю легче всего ознакомиться съ верхними гармоническими тонами. При этомъ я замѣчу, что привычное музыкальное ухо слышитъ верхнiе гармоническiе тоны не безусловно легче и увѣреннѣе непривычнаго. Успѣхъ наблюденiя здѣсь скорѣе зависитъ отъ степени отвлеченiя мысли и отъ господства надъ вниманiемъ, чѣмъ отъ музыкальнаго развитiя. Однако опытный музыкантъ имѣетъ существенное преимущество передъ непривычнымъ наблюдателемъ потому, что первый легко себѣ представляетъ, какъ должны звучать искомые имъ тоны, тогда какъ

второй долженъ постоянно извлекать эти тоны, чтобы свѣжо сохранять ихъ звукъ въ памяти.

Прежде всего слѣдуетъ замѣтить, что нечетные частные тоны основнаго тона, т. е. квинты, терцiи, септимы и т. д., слышатъ обыкновенно легче четныхъ, которые суть октавы или основнаго тона, или же другихъ нижайшихъ частныхъ тоновъ, точно также какъ и въ аккордѣ легче разслышать квинты или терцiи, чѣмъ октавы. Второй, четвертый и восьмой частные тоны суть верхнiя октавы основнаго тона; шестой—верхняя октава третьяго, т. е. дуодецимы. Для ихъ различенiя уже требуется нѣкоторый навыкъ. Среди легче слышимыхъ нечетныхъ тоновъ болѣе всего выдается по своей силѣ третiй тонъ, дуодецима основнаго тона или квинта его первой верхней октавы, затѣмъ слѣдуетъ пятый частный тонъ, какъ терцiя, и большею частью уже очень слабо седьмой, какъ малая септима второй высшей октавы основнаго тона, какъ это показываетъ нижеслѣдующiй нотный примѣръ, изображающiй частные тоны звука *c*:

Если желаютъ приступить къ наблюденiю верхнихъ гармоническихъ тоновъ, то можно посовѣтовать, передъ тѣмъ какъ издадутъ звукъ, который желаютъ анализировать, воспроизвести совершенно слабо ту ноту, которую хотятъ разслышать; ее лучше всего воспроизвести въ томъ же оттѣнкѣ, въ которомъ будутъ извлекать предполагаемый къ анализу звукъ. Для этихъ опытовъ весьма удобны фортепiано и гармонiонъ, дающiе довольно сильные верхнiе гармоническiе тоны.

Пусть сперва ударятъ на фортепiано ноту *g'* вышеизображеннаго нотнаго примѣра, и пусть въ то время, какъ освобождаютъ клавишу *g'* и демпферъ прекратитъ звучанiе струнъ, ударятъ сильно ноту *c*, въ звукѣ которой *g'* содержится какъ третiй частный тонъ; сосредоточивая вниманiе на высоту только что слышаннаго *g'*, услышатъ его выдѣляющимся изъ звука *c*. Если сначала ударить совершенно слабо пятый тонъ *e''*, а затѣмъ *c*, то произойдетъ явленiе, подобное предъидущему. Эти верхнiе гармоническiе тоны становятся часто явственнѣе, когда струну оставляютъ звучать, потому что они, какъ кажется, теряютъ свою силу медленнѣе основнаго тона. Седьмой и девятый частные тоны *b''* и *d'''* на рояляхъ новѣйшей конструкцiи по большей части слабы или же совершенно не существуютъ. Если

производить тѣ же опыты на гармоніонѣ, а именно при одномъ изъ его болѣе рѣзкихъ регистровъ, то слышатъ большею частью хорошо не только седьмой тонъ, но даже и девятый.

Противъ дѣлаемаго иногда возраженія, что наблюдатель только воображаетъ, что слышитъ верхній гармоническій тонъ въ звуковой массѣ, потому что передъ этимъ онъ его слышалъ отдѣльно, я хочу здѣсь указать только на то, что если на хорошо настроенномъ по равномѣрной температуры фортепіано слышатъ сперва e'' какъ частный тонъ c, затѣмъ дѣйствительно ударятъ клавишу e'', то можно разслышать совершенно ясно, что въ послѣднемъ случаѣ онъ немного выше. Это и есть слѣдствіе настройки по равномѣрной температуры. Слѣдовательно, если въ высотѣ между обоими тонами замѣчается разница, то одинъ изъ нихъ не можетъ быть объясненъ ни продолженіемъ въ ухѣ, ни припоминаніемъ другаго. Другіе факты, опровергающіе вполнѣ это мнѣніе возражателей, будутъ изложены впослѣдствіи.

Еще лучше описаннаго опыта на фортепіано, извлечь тонъ, который желаютъ слышать, изъ любаго струннаго инструмента (фортепіано, монохорда, скрипки), сперва какъ флажолетъ, ударяя или проводя по струнѣ смычкомъ въ то время, какъ касаются одной изъ узловыхъ точекъ соотвѣтственнаго тона пальцемъ. Вслѣдствіе этого сходство первоначально слышаннаго тона съ соотвѣтствующимъ частнымъ тономъ звуковой массы становится еще болѣе и послѣдній распознается поэтому ухомъ легче. На монохордѣ бываетъ обыкновенно масштабъ, помощью котораго можно легко вычислить положеніе узловыхъ точекъ струны. Узловыя точки третьяго тона дѣлятъ струну, какъ это уже было замѣчено въ предъидущей главѣ, на три равныя части, пятаго — на пять частей и т. д. На фортепіано и на скрипкѣ положеніе этихъ точекъ легко находятъ посредствомъ опыта тѣмъ, что дотрогиваются слегка до струны пальцемъ близъ искомой узловой точки, положеніе которой можно приблизительно опредѣлить на глазъ; затѣмъ ударяютъ по струнѣ, или проводятъ по ней смычкомъ и передвигаютъ палецъ взадъ и впередъ до тѣхъ поръ, пока искомый флажолетъ не проявится сильно и чисто. Извлечемъ теперь звукъ изъ струны и будемъ попеременно то касаться до узловой точки, то ее освобождать; тогда мы получимъ искомый верхній гармоническій тонъ, то отдѣльно въ видѣ флажолета, то въ цѣлой звуковой массѣ струны. Этимъ пріемомъ мнѣ удавалось слышать на тонкихъ струнахъ, дающихъ съ силою высокіе верхніе гармоническіе тоны, до семнадцатаго частнаго тона. Болѣе высокіе верхніе гармоническіе тоны лежатъ слишкомъ близко другъ къ другу, такъ что ухо уже ихъ отдѣлять легко не можетъ.

При такихъ опытахъ я предлагаю слѣдующій пріемъ. Пусть приложатъ волосками кисточку къ узловой точкѣ струны фортепіано или монохорда, ударятъ по струнѣ и затѣмъ тотчасъ же отъ нея отнимутъ кисточку; если она была къ струнѣ плотно приложена, то слышатъ или соотвѣтствующій верхній гармоническій тонъ отдѣльно, какъ флажолетъ, или совокупно съ основнымъ тономъ, сравнительно слабымъ. Если теперь снова повторять удары по струнѣ, постепенно уменьшая степень нажатія кисточки и наконецъ отнять ее совсѣмъ, то найдутъ, что при этомъ опытѣ, основной тонъ струны, сопровождающій верхній гармоническій, становится все слышнѣе и слышнѣе, пока наконецъ не получится полный натуральный звукъ свободной струны. Такимъ образомъ получается рядъ постепенныхъ переходовъ между изолированнымъ верхнимъ гармоническимъ тономъ и сложеннымъ звукомъ, изъ коихъ первый легко удерживается ухомъ. Посредствомъ этого послѣдне описаннаго способа, мнѣ въ большинствѣ случаевъ удавалось доказать существованіе верхнихъ гармоническихъ тоновъ совершенно непривычнымъ слушателямъ.

Верхніе гармоническіе тоны большинства духовыхъ инструментовъ и человѣческаго голоса труднѣе подмѣтить въ началѣ, верхнихъ гармоническихъ тоновъ струнныхъ инструментовъ, гармоніона и болѣе рѣзкихъ регистровъ органа, потому что здѣсь не такъ удобно слабо воспроизвести верхній гармоническій тонъ въ однородномъ оттѣнкѣ. Однакоже, при нѣкоторой практикѣ, удается вскорѣ приспособить ухо посредствомъ фортепіаннаго тона къ верхнему гармоническому тону, который оно должно услышать. Вслѣдствіе причинъ, которыя будутъ приведены далѣе, относительно наиболѣе трудно изолировать частные тоны человѣческаго голоса. Впрочемъ частные тоны голоса были уже различены Рамо *) (Rameau) безъ всякихъ искусственныхъ способовъ. Опытъ производится слѣдующимъ образомъ: заставьте пѣть басовый голосъ ноту *es* на гласной *O*; ударьте слабо b' третій частный тонъ ноты *es* на фортепіано и сосредоточивъ на немъ вниманіе, дайте ему возможность заглохнуть. По видимому нота b' фортепіано не замолкнетъ, а будетъ продолжать звучать и въ то время, когда наконецъ освободятъ клавишу, потому что ухо незамѣтно переходитъ отъ фортепіаннаго тона къ одинаково звучащему частному тону пѣвца и принимаетъ этотъ послѣдній за продолженіе фортепіаннаго тона. Но какъ только клавиша освобождена и демпферъ лежитъ на струнѣ, то невозможно, чтобы она еще звучала. Если желаютъ сдѣлать подобный опытъ для пятаго верхня-

*) Nouveau Système de musique théorique. Paris 1726. Préface.

го гармоническаго тона *es*, именно для g'', то пѣвцу лучше издать гласную *A*.

Другое весьма хорошее для этой цѣли средство, которое можетъ быть примѣнено къ звукамъ всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ, представляютъ описанные въ предыдущей главѣ шары-резонаторы. Если шаръ-резонаторъ, соотвѣтствующій какому бы то ни было опредѣленному верхнему гармоническому тону, напр. g' тона *c*, приставить къ уху и издать тонъ *c*, то посредствомъ шара услышать g' значительно усиленнымъ. Если въ этомъ случаѣ слышать и различаютъ g', то это еще не доказываетъ, что ухо могло бы слышать само собою, безъ помощи совмѣстно звучащаго шара, тонъ g' въ звукѣ *c*. Однако можно удобно воспользоваться этимъ усиленіемъ посредствомъ шара для того, чтобы направить ухо къ тону, который оно должно услышать. Если затѣмъ снова удалить постепенно шаръ отъ уха, то g' становится слабѣе; между тѣмъ разъ направленное на g' вниманіе удерживается на немъ легче, и наблюдатель слышитъ этотъ тонъ въ натуральномъ неизмѣнномъ звукѣ изданной ноты не вооруженнымъ ухомъ. Слѣдовательно, здѣсь шаръ резонаторъ долженъ служить только для того, чтобы сдѣлать ухо болѣе внимательнымъ къ тому тону, который оно должно услышать.

Всякій, кто часто производитъ подобные опыты, научается расслушивать верхніе гармоническіе тоны всё легче и легче и наконецъ достигаетъ возможности обходиться безъ всякихъ вспомогательныхъ средствъ. Однако же для производства анализа звуковъ посредствомъ одного лишь уха, всегда необходима нѣкоторая ненарушимая сосредоточенность вниманія, и поэтому однимъ лишь ухомъ, безъ помощи резонатора, всё-таки невозможно сдѣлать точное сравненіе различныхъ оттѣнковъ звука, въ особенности же тѣхъ, которые съ болѣе слабыми верхними гармоническими тонами. По крайней мѣрѣ я долженъ признаться, что пока я не воспользовался резонаторами, мои собственные опыты для нахожденія верхнихъ гармоническихъ тоновъ человѣческаго голоса и опредѣленія ихъ различія для разныхъ гласныхъ, оставались довольно неопредѣленными.

Мы переходимъ теперь къ тому, чтобы доказать, что человѣческое ухо дѣйствительно разлагаетъ звуки по закону простыхъ колебаній. Такъ какъ сила ощущенія различныхъ тоновъ не можетъ быть достаточно точно сравниваема, то мы должны ограничиться тѣмъ, чтобы доказать, что если при разложеніи звуковой массы на простыя колебанія, какое производится теоретическимъ вычисленіемъ или совмѣстнымъ звучаніемъ, недостаетъ отдѣльныхъ верхнихъ тоновъ, то таковые не распознаются также и ухомъ.

Для хода этого доказательства наиболѣе удобны опять таки звуки

струнъ, потому что они, смотря по способу и мѣсту возбужденія, допускаютъ разнообразныя измѣненія оттѣнковъ звука, а также и потому, что для этихъ звуковъ всего легче и полнѣе можетъ быть выполнено теоретическое или опытное разложеніе. Томасъ Юнгъ (Thomas Young) *) доказалъ впервые, что когда струну дергаютъ, или по ней ударяютъ, или, какъ мы можемъ прибавить, проведутъ по ней смычкомъ въ такой точкѣ ея длины, которая есть узловая точка какого нибудь изъ ея флажолетовъ, то тогда тѣ простыя формы колебанія струны, которыя имѣютъ въ затронутой точкѣ узелъ, не войдутъ въ совокупное движеніе струны. И такъ, если дернуть струну какъ разъ за ея средину, то исчезнутъ всѣ простыя колебанія, соотвѣтствующія четнымъ частнымъ тонамъ, потому что всѣ они имѣютъ въ срединѣ струны одну общую узловую точку. Это даетъ своеобразно заглушенный или гнусливый звукъ. Если струну дернуть за $1/3$ ея длины, то исчезнутъ колебанія, соотвѣтствующія третьему шестому и девятому частнымъ тонамъ; если ее дернуть за $1/4$ ея длины, то исчезнутъ колебанія, соотвѣтствующія четвертому, восьмому, двѣнадцатому и т. д. частнымъ тонамъ **).

Этотъ выводъ математическаго анализа можетъ быть тотчас же подтвержденъ, если мы будемъ анализировать звукъ струны посредствомъ совмѣстнаго звучанія или помощью шаровъ-резонаторовъ, или же посредствомъ другихъ струнъ. Опыты легко производятся на фортепіано. Нажмите обѣ клавиши *c* и c', не доводя молотковъ до удара по струнамъ, а такъ, чтобы онѣ обѣ были только освобождены отъ своихъ демпферовъ и дерните ногтемъ одну изъ струнъ тона *c* такъ, чтобы она зазвучала. Если освободить клавишу *c*, то всегда услышатъ, что струны высшаго c' будутъ продолжать звучать. Если струну *c* дернуть какъ разъ за ея средину, т. е. тамъ, гдѣ слѣдуетъ наложить палецъ для того, чтобы при ударѣ молотка чисто услышать ея первый флажолетъ, то только тогда струна c' не будетъ приведена въ совмѣстное звучаніе.

Если наложатъ палецъ на $1/3$ или $2/3$ длины струны *c* и ударятъ по клавишѣ, то услышатъ флажолетъ g'; если демпферъ струны g' поднятъ, то она приходитъ въ колебанія. Но если струну *c* дернуть ногтемъ въ томъ же самомъ мѣстѣ, т. е. на $1/3$ или $2/3$ ея длины, то g' не приходитъ въ колебанія, но она будетъ колебаться, если струну *c* дернуть во всякомъ другомъ мѣстѣ.

При наблюденіи съ шарами резонаторами точно также оказывается, что въ звукѣ струны *c*, если ее дернули по срединѣ недостаетъ

*) London. Philosophical Transactions, 1800 T. I p. 137.

**) Смотри приложеніе № III.

c'; тоже будетъ и съ g' если ее дернули за $^1/_3$ или $^2/_3$ ея длины. Слѣдовательно анализъ струнныхъ звуковъ, посредствомъ совмѣстно звучащихъ струнъ или резонаторовъ, совершенно подтверждаетъ правило, предложенное Томасомъ Юнгомъ.

Для колебаній струнъ мы однако имѣемъ еще болѣе прямой родъ анализа, чѣмъ посредствомъ совмѣстнаго звучанія. Именно, если мы слегка тронемъ колеблющуюся струну пальцемъ или кисточкою, то мы заглушаемъ всѣ тѣ простыя колебанія, которыя не имѣютъ узловой точки въ тронутой точкѣ струны; но тѣ колебанія, которыя тамъ имѣютъ узловую точку, не будутъ заглушены и будутъ существовать только одни. Слѣдовательно, если струна какимъ бы то нибыло образомъ приведена въ звучаніе и я желаю знать существуетъ ли среди ея простыхъ колебаній, изъ которыхъ, какъ можно предположить, сложено все ея движеніе, движеніе соотвѣтствующее дуодецимѣ ея основнаго тона, то мнѣ только стоитъ тронуть одну изъ узловыхъ чекъ этой формы колебанія на $^1/_3$ или $^2/_3$ длины струны; тогда тотчасъ же замолкнутъ всѣ другіе тоны и дуодецима, если она содержалась въ звукѣ, останется одна. Но если ни она, равно какъ и ни одинъ изъ ея верхнихъ гармоническихъ тоновъ, т. е. шестой, девятый, двѣнадцатый и т. д. флажолеты струны въ звукѣ не содержатся, то послѣ наложенія пальца, струна совершенно замолкнетъ.

Нажмите клавишу одной изъ струнъ фортепіано, такъ, чтобы струну освободить отъ демпфера. Дерните за средину струны и вслѣдъ за этимъ тотчасъ же дотроньтесь пальцемъ до этого же мѣста; тогда струна вполнѣ замолкнетъ, что доказываетъ, что дерганіе по срединѣ не воспроизвело ни одного изъ четныхъ частныхъ тоновъ звука струны. Дерните на $^1/_3$ длины струны и вслѣдъ за этимъ тотчасъ же дотроньтесь на $^1/_3$ или $^2/_3$ ея длины; струна опять таки замолкнетъ, что служитъ доказательствомъ отсутствія третьяго частнаго тона. Если же дернуть струну въ какой бы то ни было другой точкѣ и дотронуться до ея средины, то получится второй частный тонъ. Если же дотронуться до $^1/_3$ или $^2/_3$ ея длины, то получится третій частный тонъ.

Согласованіе получаемыхъ этимъ способомъ результатовъ съ результатами, доказанными посредствомъ совмѣстнаго звучанія, ведетъ къ подтвержденію путемъ опыта положенія, которое въ предъидущей главѣ мы подкрѣпили только выводами математическаго анализа, а именно, что проявленіе совмѣстнаго звучанія бываетъ или не бываетъ, смотря потому, что существуютъ ли или нѣтъ соотвѣтствующія простыя колебанія въ сложномъ движеніи. При послѣднеописанномъ способѣ анализировать тонъ струны, мы совершенно независимы отъ теоріи совмѣстнаго звучанія; простыя колебанія

струнъ въ этомъ случаѣ характеризованы своими узловыми точками посредствомъ которыхъ они именно и узнаются. Если бы при совмѣстномъ звучаніи звуки были разложены на какія нибудь другія формы колебаній, чѣмъ на простыя, то не было бы этого согласованія.

Подтвердивъ описанными опытами правильность найденнаго Томасомъ Юнгомъ закона, намъ только еще остается изслѣдовать разложеніе струнныхъ звуковъ посредствомъ невооруженнаго уха, чтобы и въ этомъ случаѣ найдти полное согласованіе *). Какъ только мы дергаемъ или ударяемъ струну въ одной изъ ея узловыхъ точекъ, исчезаютъ также и для уха тѣ верхніе гармоническіе тоны струннаго звука, коимъ принадлежитъ упомянутая узловая точка, тогда какъ они будутъ слышимы, если струну дергаютъ въ любомъ другомъ мѣстѣ. Слѣдовательно, если дергаютъ напр. струну c на $^1/_3$ ея длины, то не услышатъ частнаго тона g'; если же ее дернуть недалеко отъ этого мѣста, то слышатъ его совершенно явственно. Слѣдовательно ухо разлагаетъ струнный звукъ совершенно на тѣже составныя части, на какія онъ разлагается посредствомъ совмѣстнаго звучанія, т. е. по опредѣленію этого понятія Омомъ, на простые тоны. Впрочемъ и эти опыты могутъ служить къ тому, чтобы показать, что если слышатъ верхніе гармоническіе тоны, то это не обманъ воображенія, какъ иногда думаютъ люди, которые ихъ въ первый разъ слышатъ, потому что не слышатъ ихъ именно тогда, когда ихъ нѣтъ.

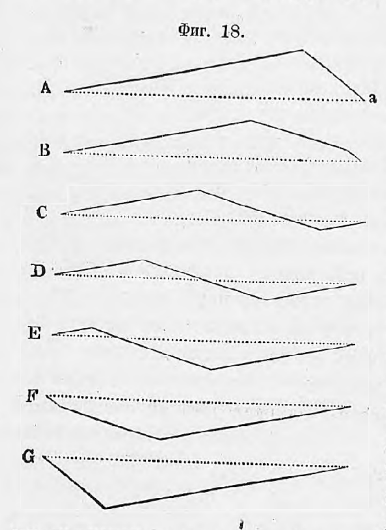
Этотъ опытъ даже особенно пригоденъ для того, чтобы сдѣлать слышимыми верхніе гармоническіе тоны какого бы то ни было рода струнъ. Ударяйте сперва поперемѣнно и въ ритмѣ третій и четвертый верхніе тоны струны, заглушая поперемѣнно ея соотвѣтствующія узловыя точки и попросите слушателя замѣтить, произшедшій такимъ образомъ, родъ простой мелодіи. Затѣмъ, не заглушая звука струны, ударяйте ее поперемѣнно въ томъ же ритмѣ, въ тѣхъ же узловыхъ точкахъ; при этомъ вы получите туже мелодію на верхнихъ тонахъ; слушатель ее легко узнаетъ. Естественно, что для того, чтобы получить третій тонъ, слѣдуетъ ударить узловую точку четвертаго и наоборотъ.

Впрочемъ звукъ дернутой струны замѣчателенъ еще какъ особенно поразительный примѣръ разложенія движенія ухомъ на длинный рядъ частныхъ тоновъ, которое глазъ и изображеніе могутъ воспроизвести гораздо простѣйшимъ образомъ. Струна, которая отклоняется въ сторону

*) Смотри Brandt въ Poggendorff's Annalen der Physik Bd. CXII. s. 324, гдѣ этотъ фактъ доказанъ

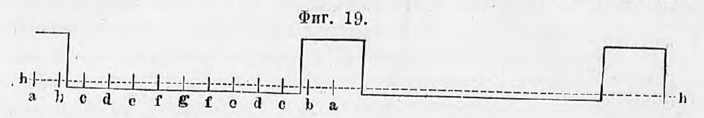
тонкимъ штифтомъ или ногтемъ, имѣетъ, прежде чѣмъ ее освободятъ, форму *A* фиг. 18. Затѣмъ она переходитъ чрезъ рядъ формъ фиг. 18 *B*, *C*, *D*, *E*, *F* въ форму *G*, которая есть обращенная форма *A*, и переходитъ снова точно также обратно. Такимъ образомъ она колеблется прямо и обратно между формами *A* и *G*. Всѣ эти формы, какъ видно, составлены изъ трехъ прямыхъ линій и если бы желали изобразить скорость отдѣльныхъ точекъ струны посредствомъ кривыхъ колебаній, то эти послѣднія вышли бы схожими. Струна передаетъ непосредственно воздуху только едва замѣтную часть своего движенія, потому что струна, коей концы покоятся на двухъ совершенно неподвижныхъ подставкахъ, напр. на металлическихъ, которыя прикрѣплены къ стѣнѣ комнаты, даетъ едва замѣтный тонъ. Звукъ

Фиг. 18.



струны передается воздуху большею частью только тѣмъ изъ ея концовъ, который упирается на упругій резонансъ посредствомъ подставки. Слѣдовательно звукъ струны зависитъ существенно только отъ движенія этого конца и косвенно отъ давленія, которое онъ производитъ на резонансъ. Какъ величина этого давленія періодически мѣняется съ временемъ, изображено на фиг. 19. Линія *hh* должна соотвѣтствовать давленію, которое производитъ конецъ *a* на подставку въ то время, когда струна находится въ покоѣ. Вдоль *hh* представимъ себѣ отложенными длины, соотвѣтствующія пройденнымъ промежуткамъ времени; вертикальныя высоты ломанной линіи, находящіяся надъ или подъ *hh*, изображаютъ увеличенія или уменьшенія давленія, относящіяся къ соотвѣтствующимъ промежуткамъ времени. Слѣдовательно, давленіе струны на резонансъ измѣняется, какъ это представляетъ фигура, между его maximum'омъ и minimum'омъ. Нѣкоторое время господствуетъ maximum давленія не измѣнясь, затѣмъ внезапно наступаетъ minimum, которое также продолжается неизмѣнно нѣкоторое время. Буквы отъ *a* до *g*, фиг. 19, соотвѣтствуютъ промежуткамъ времени измѣненія формъ струны отъ *A* до *G* фиг. 18. Эта и есть мѣна, производимая Звукомъ въ массѣ воздуха, между высшею степенью давленія и низшею. Можно дѣйствительно удивиться, что движеніе, производимое такимъ простымъ и легко усвоиваемымъ обстоятельствомъ, разлагается ухомъ на столь сложную сум-

Фиг. 19.



му частныхъ тоновъ. Для глаза и для пониманія, дѣйствіе струны на резонансъ можетъ быть представлено такимъ образомъ совершенно просто. Какое имѣетъ соотношеніе простая ломаная линія фиг. 19 съ волновыми линіями, которыя въ продолжительность одного изъ своихъ періодовъ, представляютъ 3, 4, 5 до 16 и болѣе волновыхъ возвышеній и углубленій? Это одинъ изъ самыхъ поразительныхъ примѣровъ того, какъ различно воспринимаютъ одно и тоже періодическое движеніе глазъ и ухо.

Затѣмъ не существуетъ ни одного звучащаго тѣла, коего движеніе мы бы могли вычислить при видоизмѣненныхъ обстоятельствахъ и сравнить съ дѣйствительностью столь полно, какъ это можно дѣлать при струнахъ. Примѣры, въ которыхъ еще теорія можетъ быть сравнена съ разложеніемъ посредствомъ уха, суть слѣдующіе:

Я нашелъ способъ, посредствомъ котораго возможно произвести въ воздухѣ простыя маятникообразныя колебанія. Ударенный камертонъ не даетъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ или же въ крайнемъ случаѣ даетъ слѣды ихъ тогда, когда онъ приведенъ въ столь чрезмѣрно сильныя колебанія, что они уже болѣе не происходятъ совершенно точно по закону маятника. Напротивъ, камертоны даютъ весьма высокіе верхніе негармоническіе тоны, которые производятъ особенно явственное звучаніе камертона въ мгновеніе удара и которые затѣмъ въ большинствѣ камертоновъ быстро исчезаютъ. Если держать звучащій камертонъ между пальцами, то весьма немногое передается отъ его тона воздуху, который дѣйствуетъ на нашъ слухъ только при непосредственномъ приближеніи камертона къ уху. Вмѣсто того, чтобы его держать между пальцами, его можно ввинтить въ твердую толстую дощечку, къ нижней сторонѣ которой прилѣпляютъ въ видѣ подушки нѣсколько кусковъ каучуковыхъ трубокъ. Если подобную дощечку поставить на столъ, то каучуковыя трубки, на которыхъ она стоитъ, не передаютъ звука доскѣ стола и тонъ камертона дѣлается почти не слышнымъ. Но если къ вѣтвямъ камертона приблизить усиливающую трубку *), имѣющую форму бутылки, масса

*) Либо бутылку достаточной величины, которую можно легко точнѣе настроить вливаніемъ въ нее масла или воды, либо папковую трубку со-

воздуха котораго, будучи вдуваема, даетъ тотъ же тонъ, какъ и камертонъ, то воздухъ усиливающей трубки придетъ въ этомъ случаѣ въ соколебаніе и вслѣдствіе этого тонъ камертона передастся съ большею силою также и внѣшнему воздуху. Кромѣ того высшіе верхніе тоны трубки не соотвѣтствуютъ какъ гармоническимъ, такъ и негармоническимъ тонамъ камертоновъ, что, впрочемъ, также можетъ быть точно повѣрено во всякомъ отдѣльномъ случаѣ, если искать верхніе тоны трубки посредствомъ болѣе сильнаго вдуванія, а верхніе тоны камертоновъ помощью колеблющихся струнъ, какъ это сейчасъ будетъ описано. Если теперь одному изъ тоновъ трубки соотвѣтствуетъ только одинъ изъ тоновъ камертона, а именно основной тонъ, то соколебаніемъ будетъ усиленъ этотъ послѣдній и только онъ будетъ переданъ массѣ воздуха и уху наблюдателя. Изслѣдованіе движенія воздуха помощью резонаторовъ въ этомъ случаѣ показываетъ, что при слишкомъ сильномъ движеніи камертона дѣйствительно недостаетъ всякаго другаго тона кромѣ основнаго, и невооруженное ухо въ такомъ случаѣ слышитъ только единственный тонъ, а именно общій основной тонъ камертона и трубки безъ сопровождающихъ верхнихъ тоновъ.

Можно еще другимъ образомъ освободить тонъ камертона отъ верхнихъ тоновъ, если поставить его именно основаніемъ на струну и приблизить его на столько къ подставкѣ струны, чтобы одинъ изъ собственныхъ тоновъ части струны, ограниченный камертономъ и подставкою, сдѣлался одинаковъ съ тономъ камертона. Тогда струна приходитъ въ сильное колебаніе и передаетъ тонъ камертона съ большею силою своему резонансу и воздуху, тогда какъ тонъ совершенно слабъ или вовсе неслышимъ, когда упомянутая часть струны не въ однозвучіи съ тономъ камертона. Такимъ образомъ можно легко найдти протяженія струнъ, которыя соотвѣтствуютъ основному тону и верхнимъ тонамъ камертона и опредѣлить въ особенности точно высоту тона послѣднихъ. Если этотъ опытъ производятъ съ обыкновенными, по всему ихъ протяженію однородными струнами, то хотя этимъ и отстраняютъ отъ уха верхніе негармоническіе тоны камертона, но не отстраняютъ иногда слабо существующіе гармоническіе, которые могутъ сдѣлаться слышимыми при сильномъ колебаніи камертона. Поэтому, если желаютъ произвести этотъ опытъ для возбужденія чисто маятникообразныхъ колебаній въ воздухѣ, то выгодно утяжелить одну изъ точекъ струны, хотя бы только прилѣпленною каплею сургуча. Отъ этого высшіе тоны струны становятся негармоничными съ основнымъ тономъ и опредѣляются тѣ ея точки, гдѣ слѣдуетъ поставить камертонъ, чтобы сдѣлать слышимыми или его основной тонъ, или его высшую октаву (если она существуетъ).

вершенно закрытую съ одного конца и сохраняющую малое круглое отверстіе на другомъ. Смотри размѣры такихъ усиливающихъ трубокъ въ приложеніи IV.

Въ большинствѣ другихъ случаевъ математическій анализъ звуковыхъ движеній еще не дошелъ столь далеко, чтобы можно было опредѣлить съ увѣренностью, какіе тамъ должны быть верхніе тоны и насколько они сильны. Теоретически это было бы возможно для сотрясаемыхъ ударомъ круглыхъ пластинокъ и натянутыхъ перепонокъ, но ихъ негармоническіе побочные тоны такъ многочисленны и такъ близко лежатъ другъ около друга, что ихъ отдѣленіе вѣроятно бы неудалось большинству наблюдателей.

Напротивъ, тоны упругихъ прутьевъ лежатъ далеко другъ отъ друга, негармоничны и поэтому легко распознаются въ отдѣльности ухомъ. Если число колебаній основнаго тона мы обозначимъ 1-ю и назовемъ его *c*, то тоны свободнаго на обоихъ концахъ прута будутъ:

	число колебаній.	нотное обозначеніе.
Первый тонъ.	1,0000	*c*
Второй тонъ	2.7576	*fis'* — 0,2.
Третій тонъ	5.4041	*f''* + 0,1.
Четвертый тонъ	13.3444	*a'''* — 0,1.

Нотное обозначеніе вычислено по равномѣрной температуріи, а помѣщенныя возлѣ нотъ дроби обозначаютъ части цѣлаго тона.

Тамъ, гдѣ мы не можемъ производить теоретическаго анализа движенія, мы можемъ однако всегда разлагать, посредствомъ резонаторовъ или другихъ соколеблющихся тѣлъ, всякій отдѣльный воспринимаемый звукъ и сравнить это разложеніе, которое опредѣлено по закону совмѣстнаго звучанія съ разложеніемъ невооруженнымъ ухомъ. При этомъ ухо конечно гораздо менѣе чувствительно вооруженнаго и тоны, обнаруживаемые слабо резонаторомъ, часто невозможно различить безъ его помощи среди другихъ болѣе сильныхъ тоновъ. Напротивъ, насколько могли простираться мои изслѣдованія, всѣ они вполнѣ согласуются въ томъ, что ухо ощущаетъ всѣ тоны обнаруживаемые резонаторами и безъ нихъ и что напротивъ оно не ощущаетъ ни одного изъ верхнихъ тоновъ, котораго не обнаруживаетъ резонаторъ. Въ этомъ отношеніи я дѣлалъ именно много опытовъ надъ человѣческимъ голосомъ и гармоніюмъ, которые всѣ подтверждаютъ данное правило.

Приведенными опытами доказывается вѣрность положенія, предлагаемаго и защищаемаго Омомъ, а именно: что человѣческое ухо ощущаетъ только маятникообразное колебаніе воздуха, какъ простой тонъ, а всякое другое періодическое движе-

ніе воздуха разлагаетъ на рядъ маятникообразныхъ колебаній и соотвѣтственно имъ ощущаетъ рядъ тоновъ.

Слѣдовательно, если мы, сообразно нашему прежнему опредѣленію обозначаемъ ощущеніе, которое возбуждаетъ въ ухѣ періодическое движеніе воздуха, названіемъ звука (Klang), а ощущеніе, которое возбуждаетъ простое маятникообразное движеніе воздуха названіемъ тона, то ощущеніе звука сложено изъ ощущеній нѣсколькихъ тоновъ.

Мы будемъ обозначать названіемъ звука (Klang) то слуховое ощущеніе, которое воспроизводится однимъ отдѣльнымъ звучащимъ тѣломъ, тогда какъ слуховое ощущеніе, воспроизводимое многими одновременно звучащими тѣлами, слѣдуетъ назвать звуковымъ сочетаніемъ (Zusammenklang). Слѣдовательно, если на музыкальномъ инструментѣ (на скрипкѣ, трубѣ, органѣ) или же человѣческимъ голосомъ воспроизводится отдѣльная нота, то въ точномъ смыслѣ слова ее слѣдуетъ назвать звукомъ (Klang). Обозначеніе звука такой ноты, по существовавшей до сихъ поръ терминологіи, названіемъ тона могло бы быть позволительнымъ только тамъ, гдѣ можно упускать изъ виду сложность звука и принимать во вниманіе только его основной тонъ. Въ дѣйствительности основной тонъ по большей части сильнѣе всѣхъ верхнихъ тоновъ и поэтому по его высотѣ опредѣляется и высота звука. Въ сущности звукъ нѣкоего источника тоновъ сокращается до одного тона только въ весьма рѣдкихъ случаяхъ, напр. у камертоновъ, коихъ тонъ, какъ было описано, передается воздуху посредствомъ усиливающей трубки; кромѣ того звукъ слабо вдуваемыхъ закрытыхъ органныхъ трубокъ почти свободенъ отъ верхнихъ тоновъ и сопровождается только шумомъ воздуха.

Извѣстно, что это соединеніе многихъ тоновъ въ одинъ звукъ, осуществленное свойствомъ звуковъ большинства музыкальныхъ инструментовъ, подражается также искусственно посредствомъ особыхъ механическихъ приспособленій и на органѣ. Звуки органныхъ трубокъ относительно бѣдны верхними тонами; отсюда слѣдуетъ, что для составленія регистра съ рѣзкимъ пронзительнымъ оттѣнкомъ звука и съ могучею силою тона недостаточно какъ большихъ трубъ (регистра принципаловъ и большихъ закрытыхъ трубъ), потому что ихъ тонъ слишкомъ мягокъ и бѣденъ верхними тонами, такъ и малыхъ трубъ (регистра скрипокъ и квинтатъ), потому что хотя ихъ тонъ и болѣе рѣзокъ, но за то также и слабѣе. При такихъ условіяхъ, для сопровожденія хороваго пѣнія служатъ регистры смѣсей или микстуръ. Въ этихъ регистрахъ каждая клавиша соединена съ рядомъ трубъ различной величины, которыя она одновременно от-

крываетъ и которыя даютъ основной тонъ и первые верхніе гармоническіе тоны звука соотвѣтствующей ноты. Основной тонъ чаще всего соединяется съ высшею октавою, а иногда и съ дуодецимою. Болѣе сложныя микстуры (корнеты) даютъ первые шесть частныхъ тоновъ, т. е кромѣ обѣихъ первыхъ октавъ основнаго тона и дуодецимы, еще высшую терцію и октаву дуодецимы. Это рядъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ, продолженный настолько, насколько эти тоны не выходятъ изъ мажорнаго аккорда. Но чтобы эти регистры микстуръ не были невыносимо крикливыми, необходимо, чтобы нижайшіе тоны каждой ноты были еще усилены другими рядами трубъ, потому что во всѣхъ естественныхъ и музыкально годныхъ звукахъ частные тоны ослабѣваютъ съ высотою. Это должно быть принято въ соображеніе при подражаніи посредствомъ микстуръ какому либо оттѣнку звука. Для существовавшей до сихъ поръ музыкальной теоріи, которая знаетъ только кое что объ основныхъ тонахъ звуковъ, микстуры казались ужасомъ; однако ихъ принудила удержать практика органистовъ и органныхъ мастеровъ; будучи примѣнены кстати и правильно, микстуры составляютъ чрезвычайно сильное музыкальное средство. При этомъ ихъ употребленіе вполнѣ оправдывается сущностью дѣла. Музыкантъ долженъ себѣ представить звуки всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ сложенными подобно тонамъ регистра микстуръ, а та существенная роль, какую играетъ это сложеніе при построеніи нашихъ гаммъ и аккордовъ, будетъ объяснена въ слѣдующихъ главахъ этой книги.

Наше изслѣдованіе приводитъ насъ здѣсь къ оцѣнкѣ верхнихъ гармоническихъ тоновъ, которая довольно отклоняется отъ существовавшихъ до сихъ поръ взглядовъ музыкантовъ и даже физиковъ; поэтому-то мы должны предупредить ожидаемыя возраженія.

Правда, что о существованіи верхнихъ тоновъ знали прежде, но за то почти исключительно въ отдѣльныхъ видахъ звука, а именно въ струнныхъ, гдѣ особыя условія благопріятствовали наблюденію; однако въ физическихъ и музыкальныхъ сочиненіяхъ они до сихъ поръ представляются какъ явленіе частное, случайное, слабой силы какъ родъ куріоза, который приводятъ при случаѣ для того, чтобы имъ подкрѣпить до нѣкоторой степени мнѣніе, что построеніе нашего мажорнаго аккорда подготовлено уже самою природою; однако на это почти не обращали вниманія. Съ своей стороны мы должны предположить и докажемъ это въ слѣдующей главѣ, что верхніе тоны, за весьма немногими, уже названными, исключеніями, составляютъ обыкновенную составную часть почти всѣхъ звуковъ, и что извѣстное количество верхнихъ тоновъ въ звукѣ есть существенное условіе хорошаго музыкальнаго оттѣнка звука. Наконецъ, такъ какъ они

наблюдаются съ трудомъ, то ихъ неправильно считали слабыми, тогда какъ напротивъ въ нѣкоторыхъ изъ лучшихъ музыкальныхъ оттѣнковъ звука степень силы нижайшихъ верхнихъ тоновъ немногимъ уступаетъ силѣ основнаго тона.

Въ послѣднемъ фактѣ можно еще легко убѣдиться посредствомъ опыта надъ звуками струнъ. Если ударяютъ струну фортепіано или монохорда и вслѣдъ за этимъ тотчасъ же слегка дотрогиваются до одной изъ ея узловыхъ точекъ пальцемъ, то соотвѣтствующій частный тонъ сохранитъ свою неизмѣнную силу, а остальные исчезнутъ. Можно также держать палецъ на узловой точкѣ струны во время удара и тогда вмѣсто цѣлаго звука ноты получатъ сразу только соотвѣтствующій частный тонъ. Этими обоими путями можно убѣдиться, что первые верхніе гармоническіе тоны, именно октава и дуодецима отнюдь не слабо и трудно слышимые тоны, а имѣютъ весьма значительную силу. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ могутъ быть также опредѣлены, какъ это будетъ показано въ слѣдующей главѣ, численныя величины силы верхнихъ тоновъ. Изслѣдованіе не можетъ быть такъ легко подтверждено для тоновъ не струнныхъ потому, что верхніе тоны не могутъ быть воспроизведены отдѣльно; однако тогда можно еще всегда узнать посредствомъ резонаторовъ, насколько приблизительно сильны верхніе тоны тѣмъ, что воспроизводятъ соотвѣтствующую ноту на томъ же или другомъ инструментѣ съ такою силою, чтобы таже сила звучанія отражалась и въ резонаторѣ.

Затрудненіе, которое испытываютъ, чтобы ихъ разслышать, не можетъ служить основаніемъ считать ихъ слабыми, потому что это затрудненіе совершенно не зависитъ отъ ихъ силы, а совсѣмъ отъ другихъ данныхъ, которыя были представлены въ настоящемъ свѣтѣ вслѣдствіе новѣйшихъ успѣховъ физіологіи органовъ чувствъ. Къ затрудненію, которое испытываютъ при воспринятіи верхнихъ тоновъ, присоединились еще возраженія, противопоставленныя Зеебекомъ (Seebeck) *) положенному Омомъ закону объ анализѣ звука и быть можетъ, что весьма многіе изъ моихъ читателей, которые незнакомы съ физіологіею другихъ органовъ чувствъ, въ особенности же глаза, будутъ склонны присоединиться къ мнѣнію Зеебека. Поэтому я здѣсь долженъ ближе войдти въ разсмотрѣніе этой полемики и особенностей нашихъ чувственныхъ воспріятій, отъ коихъ зависитъ его рѣшеніе.

Не смотря на то, что Зеебекъ, замѣчательный изслѣдователь въ акустическихъ опытахъ и наблюденіяхъ, онъ не всегда былъ въ состояніи распознать верхніе тоны тамъ, гдѣ они должны были бы существовать по закону Ома. Но онъ, какъ мы должны сейчасъ добавить, не примѣнялъ упомянутые нами выше способы для того, чтобы направлять ухо на изслѣдуемые верхніе тоны. Если же онъ ихъ и слышалъ, то при сравненіи ихъ силы съ тою, которую они должны были бы имѣть теоретически, они ему однако казались слишкомъ слабыми. Изъ этого онъ заключилъ, что положенное Омомъ опредѣленіе простаго тона слишкомъ ограничено, что не только маятникообразныя, но также и другія колебанія, если только ихъ форма не слишкомъ много разнится отъ маятникообразной, въ состояніи воспроизвести въ ухѣ ощущеніе одного отдѣльнаго тона, но только мѣняющагося оттѣнка. Вслѣдствіе этого онъ полагалъ, что если звукъ сложенъ изъ нѣсколькихъ простыхъ тоновъ, то часть силы верхнихъ тоновъ сливается съ силою основнаго тона и его усиливаетъ, тогда какъ незначительный остатокъ производитъ еще ощущеніе верхняго тона. Онъ не представилъ опредѣленнаго закона о томъ, какія формы колебанія должны дать впечатлѣніе отдѣльнаго тона и какія—впечатлѣніе нѣсколькихъ сложенныхъ тоновъ.

*) In Poggendorf's Annalen der Physik Bd. LX, S. 449, Bd. LXIII, S. 353 und, 368. Ohm, ebend. Bd. LIX S. 513, Bd. LXII, S. 1.

Намъ нѣтъ надобности описывать подробнѣе опыты Зеебека, на которыхъ онъ основываетъ свои предположенія. Эти опыты имѣютъ только цѣлью воспроизводить звуки, для которыхъ можно или теоретически вычислить силу простыхъ колебаній, соотвѣтствующихъ верхнимъ тонамъ, или же сдѣлать слышимыми верхніе тоны отдѣльно. Для послѣдней цѣли пользовались именно сиреною; мы только что описали какъ можно достичь того же посредствомъ струнъ. Зеебекъ доказываетъ въ отдѣльныхъ случаяхъ, что простыя колебанія, соотвѣтствующія верхнимъ тонамъ, имѣютъ значительную силу, тогда какъ въ сложномъ звукѣ верхніе тоны или совершенно не слышимы, или же слышатся съ трудомъ. Этотъ фактъ мы привели уже сами въ теченіе этой главы; онъ можетъ быть совершенно вѣренъ для наблюдателя, не примѣняющаго настоящихъ средствъ къ наблюденію верхнихъ тоновъ, тогда какъ другой или даже тотъ же наблюдатель услышитъ верхніе тоны вполнѣ хорошо при лучшихъ условіяхъ.

Дѣло въ томъ, что верхніе тоны составляютъ явленіе, принадлежащее чисто ощущенію слуха; сложеніе ряда частныхъ тоновъ въ одинъ звукъ въ томъ видѣ, какимъ онъ принадлежитъ какому бы то ни было опредѣленному инструменту, есть процессъ, относящійся не къ ощущеніямъ, а къ воспринятіямъ. Уже въ введеніи я обратилъ вниманіе на эту разницу. Мы называемъ ощущеніями тѣ впечатлѣнія, произведенныя на наши чувства, которыя намъ представляются, какъ особыя состоянія нашего организма (спеціально нервныхъ аппаратовъ); воспринятіями же мы называемъ сложившіяся

изъ ощущеній представленія о внѣшнихъ предметахъ. Если въ нѣкоторомъ Звукѣ мы распознаемъ звукъ скрипки, то это восприятіе; мы заключаемъ о существованіи опредѣленнаго инструмента, которому свойственно воспроизводить подобнаго рода звуки. Но если мы этотъ звукъ будемъ стараться разложить на его частные тоны, то это будетъ дѣломъ чистаго ощущенія. Отдѣльному частному тону не соотвѣтствуетъ никакое особое звучащее тѣло, или часть этого тѣла; отдѣленный отъ другихъ частныхъ тоновъ того же звука, онъ не болѣе какъ часть нашего ощущенія. Поэтому, если мы производимъ, какъ напр, въ этомъ сочиненіи, научныя изслѣдованія о нашихъ ощущеніяхъ, то для нихъ можетъ быть весьма важно нахожденіе частнаго тона; напротивъ, намъ въ этомъ нѣтъ надобности при ежедневныхъ слуховыхъ ощущеніяхъ, потому что въ этомъ случаѣ наши чувственныя ощущенія имѣютъ для насъ значеніе только въ томъ отношеніи, что мы можемъ постичь съ ихъ помощью явленія въ окружающемъ насъ внѣшнемъ мірѣ. Для послѣдней же цѣли достаточно вѣрнаго распознаванія звуковъ; ихъ раздѣленіе на частные тоны, если бы мы это сознавали, не только бы ничему не помогло, но даже бы намъ чрезвычайно мѣшало.

Но однако въ употребленіи нашихъ органовъ чувствъ, практика и опытность играютъ гораздо большую роль, чѣмъ мы обыкновенно склонны это предполагать, и такъ какъ ощущенія нашихъ чувствъ, какъ мы только что это замѣтили выше, имѣютъ для насъ значеніе только въ томъ отношеніи, что мы посредствомъ ихъ достигаемъ возможности вѣрно обсуживать окружающій насъ внѣшній міръ, то наше искусство въ наблюденіи этихъ ощущеній обыкновенно также простирается настолько, насколько требуетъ эта цѣль. Правда, ~~что~~ мы склонны, даже слишкомъ, полагать, что должны тотчасъ сознавать то, что мы ощущаемъ и то, что заключается въ нашемъ ощущеніи. Но это естественное мнѣніе основывается однако только на томъ, что на дѣлѣ мы всегда распознаемъ скоро и безъ затрудненія все то, что насъ интересуетъ въ нашихъ ощущеніяхъ для практической цѣли вѣрнаго изученія внѣшняго міра, потому что въ продолженіи всей нашей жизни, мы ежедневно и ежечасно упражнялись въ употребленіи нашихъ органовъ чувствъ для этой цѣли и для нея же собирали наблюденія. Вліяніе практики обнаруживается и въ томъ случаѣ, когда мы остаемся въ кругѣ ощущеній, соотвѣтствующихъ внѣшнимъ предметамъ. Извѣстно, насколько живописецъ умѣетъ различать утонченнѣе и скорѣе цвѣта и освѣщеніе, насколько музыкантъ и мастеръ музыкальныхъ инструментовъ распознаетъ легко и вѣрно разницу высотъ тоновъ и оттѣнковъ звука, которые не существуютъ для уха профана; насколько даже въ низшихъ знаніяхъ кулинарнаго

искусства и пробѣ вина, знатока образуетъ только многосторонняя опытность и постоянныя сравненія. Однако значеніе опытности выступаетъ еще гораздо сильнѣе, когда мы переходимъ къ такимъ ощущеніямъ, которыя обусловливаются только внутренними явленіями нашихъ органовъ чувствъ и нашей нервной системы, которыя совершенно не соотвѣтвуютъ внѣшнимъ явленіямъ и ихъ на насъ вліяніямъ и которыя поэтому не имѣютъ для насъ значенія при распознаваніи внѣшняго міра. Новѣйшая физіологія органовъ чувствъ научила множеству такихъ явленій, которыя были найдены частью простымъ случаемъ, частью теоретическими вопросами и соображеніями, частью особеннымъ наблюдательнымъ талантомъ отдѣльныхъ даровитыхъ личностей, каковы Гёте (Göthe) и Пуркинье (Purkinje). Эти, такъ называемыя субъективныя явленія открыть чрезвычайно трудно и если они найдены, то требуютъ почти всегда особыхъ вспомогательныхъ средствъ для того, чтобы направить на нихъ наше вниманіе, такъ что, зная уже описаніе перваго наблюдателя, ихъ весьма трудно находить снова. Дѣло въ томъ, что мы нетолько что неопытны въ наблюденіи этихъ субъективныхъ явленій чувствъ, но имѣемъ даже необыкновенную способность отъ нихъ постоянно изолироваться, потому что иначе они бы намъ мѣшали при наблюденіи внѣшняго міра. Мы ихъ начинаемъ замѣчать только тогда, когда ихъ сила становится столь значительною, что препятствуетъ наблюденію внѣшняго міра, или же когда они становятся отправною точкою для сумасбродныхъ представленій во снѣ или въ бреду.

Мнѣ желательно здѣсь напомнить въ видѣ примѣровъ нѣсколько довольно извѣстныхъ случаевъ изъ физіологической оптики. Такъ называемыя летающія мухи (mouches volantes) находятся въ каждомъ глазѣ; это суть волокна, зёрнушки, капельки, которыя плаваютъ въ стекловидной влагѣ нашего глаза, бросаютъ тѣнь на сѣтчатую оболочку и являются въ полѣ зрѣнія какъ маленькія, темныя, подвижныя изображенія; они видимы наиболѣе легко, когда внимательно смотрятъ на обширную, свѣтлую, неимѣющую узоровъ поверхность, напр. на небесный сводъ. Большинство лицъ, которыя къ этому не были особенно внимательны, замѣчаютъ ихъ обыкновенно только при заболѣваніи ихъ собственныхъ глазъ, вслѣдствіе чего они и начинаютъ внимательнѣе наблюдать субъективныя явленія. Тогда эти лица начинаютъ обыкновенно жаловаться на то, что летающія мухи появились вмѣстѣ съ болѣзнью, что заставляетъ ихъ весьма часто безпокоиться и внимательно слѣдить за этими невинными предметами. Пацiенты не хотятъ тогда и вѣрить, что эти самыя изображенія уже существовали въ продолженіи всей ихъ прежней жизни и существуютъ во всякомъ здоровомъ глазѣ. Я даже

зналъ одного старика, который долженъ былъ сдѣлать повязку на одинъ, случайно заболѣвшій глазъ и который, къ немалому своему страху, въ первый разъ замѣтилъ, что онъ совершенно слѣпъ и на другой глазъ; въ сущности это была такого рода слѣпота, которая должна была незамѣтно образоваться годами. Кто бы далѣе могъ повѣрить, не исполнивъ соотвѣтствующихъ опытовъ, закрывая одинъ глазъ, что близь центра поля зрѣнія, обозрѣваемаго вторымъ глазомъ, существуетъ пробѣлъ, въ которомъ мы ничего не видимъ и который мы только дополняемъ воображеніемъ; это такъ называемое слѣпое пятно (пятно Маріотта). Маріоттъ (Mariotte), открывшій это явленіе послѣдовательными теоретическими выводами, возбудилъ не малое удивленіе при дворѣ англійскаго короля Карла II, гдѣ онъ показывалъ надъ своимъ открытіемъ опыты, которые были повторяемы для забавы во многихъ видоизмѣненіяхъ. Въ дѣйствительности этотъ пробѣлъ на столько великъ, что въ его діаметрѣ могли бы помѣститься другъ возлѣ друга 7 полнолуній, и что лицо человѣка, удаленное отъ глаза отъ 6-ти до 7-ми футовъ, можетъ совершенно въ немъ исчезнуть. Однако при обыкновенномъ, свободномъ смотрѣніи пробѣлъ поля зрѣнія совершенно не замѣчается потому, что нашъ взоръ постоянно блуждаетъ и непосредственно направляется на тѣ предметы, которые насъ интересуютъ. Слѣдовательно предметы, которые возбуждаютъ на мгновеніе наше вниманіе никогда не лежатъ въ пробѣлѣ поля зрѣнія; поэтому слѣпое пятно обыкновенно и не бываетъ предметомъ нашего вниманія. Мы сперва должны намѣренно фиксировать объектъ, затѣмъ подвинувъ въ область слѣпаго пятна второй малый объектъ, мы должны постараться его увидѣть, не измѣняя нашей прежней точки фиксированія, что чрезвычайно противорѣчитъ нашему привычному смотрѣнію и многимъ лицамъ даже совершенно недоступно; мы убѣждаемся въ существованіи слѣпаго пятна только тогда, когда второй объектъ дѣлается невидимымъ.

Наконецъ я напомню о двойныхъ изображеніяхъ при обыкновенномъ смотрѣніи двумя глазами. Каждый разъ, какъ мы направляемъ оба глаза на одну точку, всѣ предметы, которые значительно ближе или значительно дальше разсматриваемой точки, намъ кажутся двоящимися. Мы это легко замѣчаемъ при нѣсколько болѣе внимательномъ наблюденіи. Изъ этого мы можемъ заключить, что въ продолженіе всей нашей жизни мы постоянно видѣли значительно большую часть внѣшняго міра вдвойнѣ; однако же существуетъ множество лицъ, которыя этого не знаютъ и въ высшей степени удивляются, когда въ первый разъ обращаютъ на это ихъ вниманіе. Однако въ сущности мы также не видѣли вдвойнѣ тѣхъ именно предме-

товъ, на которые было направлено въ извѣстное время наше вниманіе, потому что мы ихъ фиксируемъ обоими глазами разомъ. Слѣдовательно, при ежедневномъ пользованіи глазами, наше вниманіе было постоянно отклонено отъ всѣхъ тѣхъ объектовъ, которые въ данное время кажутся двойными, поэтому то мы объ нихъ и ничего не знаемъ. Мы должны сперва подвергнуть нашему вниманію новую и непривычную цѣль; мы должны начать внимательно разсматривать боковыя части поля зрѣнія не для того, чтобы ознакомиться съ находящимися тамъ предметами, а для того, чтобы анализировать наши ощущенія, пока не уловимъ явленія. Тоже затрудненіе, которое заключается въ наблюденіи субъективныхъ ощущеній, которымъ не соотвѣтствуетъ объекта въ внѣшнемъ мірѣ, существуетъ и въ анализѣ сложныхъ ощущеній, которыя соотвѣтствуютъ простому не сложному объекту; такого то рода суть именно ощущенія звуковъ. Если каждый разъ, какъ мы слышали Звукъ скрипки, онъ постоянно воспроизводилъ въ нашемъ ухѣ ощущеніе той же суммы частныхъ тоновъ, то эта сумма становится наконецъ въ нашемъ ощущеніи сложнымъ признакомъ звука скрипки; другая комбинація частныхъ тоновъ становится чувственнымъ признакомъ звука кларнета и т. д. Чѣмъ чаще мы слышали такую комбинацію, тѣмъ болѣе мы пріучаемся ее воспринимать какъ сложное цѣлое и тѣмъ труднѣе ее анализировать непосредственнымъ наблюденіемъ. Я полагаю, что это одно изъ главнѣйшихъ основаній, почему, сравнительно, такъ трудно разложеніе звуковъ человѣческаго голоса. Таковыя же смѣшиванія нѣсколькихъ ощущеній въ одно простое цѣлое, переходящее въ воспринятіе, встрѣчаются въ области всѣхъ нашихъ органовъ чувствъ.

Въ этомъ случаѣ мы находимъ опять интересные примѣры въ физіологической оптикѣ. Представленіе тѣлесности формы, находящагося вблизи предмета, получается отъ сочетанія двухъ различныхъ изображеній предмета, которыя передаются обоими глазами; при этомъ различіе изображеній основывается на томъ, что оба глаза разсматриваютъ данный предметъ съ различныхъ точекъ зрѣнія, вслѣдствіе чего и получаются два немного различныя его перспективныя изображенія. До изобрѣтенія стереоскопа можно было только предполагать, что это дѣйствительно такъ, но теперь съ помощью этого аппарата, вышеизложенное объясненіе можетъ быть легко доказано когда угодно. Въ стереоскопѣ мы сводимъ два плоскихъ изображенія, двѣ передаваемыя намъ глазами перспективы такъ, что каждый глазъ видитъ относящееся къ нему изображеніе въ соотвѣтствующемъ мѣстѣ, вслѣдствіе чего мы и получаемъ тѣлесность образа также полно и живо, какъ будто бы мы глядѣли на настоящее тѣло. Конечно, если мы на это обратили вниманіе, мы можемъ, за-

крывая одинъ глазъ послѣ другаго, замѣтить эти различія изображеній, по крайней мѣрѣ тогда, когда они не слишкомъ малы; но для стереоскопическаго представленія глубины достаточно имѣть изображенія столь незначительно различающіяся другъ отъ друга, что даже при тщательномъ сравненіи эти различія едва возможно замѣтить; во всякомъ случаѣ, когда мы разсматриваемъ тѣлесные объекты, мы нисколько не думаемъ, что получаемый нами образъ составленъ изъ соединенія двухъ перспективныхъ изображеній и что этотъ образъ совершенно инаго свойства, чѣмъ каждое изъ двухъ плоскихъ изображеній, разсматриваемыхъ порознь. Слѣдовательно здѣсь сливаются два различныхъ ощущенія обоихъ глазъ въ одинъ третій образъ, совершенно отличный отъ обоихъ прежнихъ, точно также, какъ смѣшиваются частные тоны въ образъ звука опредѣленнаго инструмента. И совершенно также, какъ мы научаемся отдѣлять частные тоны струны, заглушая, когда она звучитъ, одну изъ ея узловыхъ точекъ, точно также мы научаемся отдѣлять изображенія обоихъ глазъ, закрывая попеременно то одинъ, то другой глазъ.

Есть еще много сложныхъ случаевъ, гдѣ должны сходиться множество ощущеній, чтобы служить основаніемъ совершенно простаго воспринятія. Если мы напр. воспринимаемъ, что видимый предметъ лежитъ въ извѣстномъ направленіи, то мы должны себѣ отдать отчетъ, что только извѣстная часть нашихъ волоконъ зрительнаго нерва поражается его свѣтомъ, а другая нѣтъ; этимъ опредѣляется положеніе объекта относительно глаза. Затѣмъ мы должны вѣрно судить о положеніи глазъ въ головѣ посредствомъ чувствительности нашихъ глазныхъ мускуловъ и наконецъ, мы должны вѣрно обсудить положеніе головы относительно тѣла, посредствомъ чувствительности шейныхъ мускуловъ. Какъ только одинъ изъ этихъ процессовъ будетъ нарушенъ, мы составляемъ себѣ невѣрныя представленія относительно положенія объекта. Если мы измѣнимъ преломленіе свѣта, поставивъ передъ глазомъ призму и достигнемъ этимъ того, что другія нервныя волокна будутъ поражены свѣтомъ разсматриваемаго предмета, или если мы нажмемъ съ боку глазное яблоко и этимъ задержимъ свободную игру глазныхъ мускуловъ, то посредствомъ подобныхъ опытовъ мы можемъ безъ сомнѣнія доказать, что ощущенія этихъ различныхъ органовъ должны соперничать въ простомъ воспринятіи положенія объекта; но это было бы совершенно невозможно опредѣлить непосредственно изъ чувственнаго впечатлѣнія, которое на насъ производитъ объектъ. И если мы даже сами произвели упомянутые опыты и убѣдились, что это должно было бы такъ быть, то для нашего непосредственнаго самонаблюденія это остается однако совершенно сокровеннымъ.

Эти примѣры могутъ быть достаточны для того чтобы доказатъ ту важную роль, которую играютъ направленіе вниманія и навыкъ въ наблюденіи при нашихъ чувственныхъ воспринятіяхъ. Приложимъ это теперь къ наблюденію посредствомъ уха. Обыкновенная задача, которую должно рѣшить наше ухо при совпаденіи нѣсколькихъ звуковъ, состоитъ въ томъ, чтобы отдѣлить другъ отъ друга отдѣльные звуки, которые принадлежатъ отдѣльнымъ звучащимъ тѣламъ или инструментамъ; только въ этомъ, анализъ посредствомъ уха имѣетъ объективный интересъ. Мы желаемъ знать, что говоритъ каждая отдѣльная личность, когда нѣсколько человѣкъ говорятъ вмѣстѣ; какую исполняетъ мелодію каждый отдѣльный голосъ, когда звучатъ вмѣстѣ нѣсколько инструментовъ и голосовъ. Напротивъ, дальнѣйшій анализъ, посредствомъ котораго отдѣльные звуки разлагаются на свои частные тоны, не смотря на то, что можетъ быть исполненъ тѣми же самыми дѣйствіями уха, какъ упомянутый первый, не научилъ бы насъ ничему новому относительно имѣющихся источниковъ тоновъ, а касательно числа ихъ привелъ бы насъ скорѣе въ заблужденіе. Вслѣдствіе этого, при разложеніи звуковой массы, мы обыкновенно ограничиваемъ направленіе нашего вниманія на звуки отдѣльныхъ инструментовъ, равно какъ и удерживаемъ его отъ дальнѣйшаго разложенія звуковъ на тоны. Поэтому насколько мы опытны въ первомъ случаѣ, на столько же мы неопытны въ послѣднемъ.

Множество вспомогательныхъ средствъ содѣйствуютъ намъ къ отдѣленію другъ отъ друга звуковъ, исходящихъ изъ различныхъ источниковъ тоновъ и наоборотъ къ смѣшенію въ одно цѣлое частныхъ тоновъ, исходящихъ изъ одного источника. Если къ одному уже существующему звуку присоединяется впослѣдствіи другой, который продолжаетъ длится еще въ то время, когда первый исчезаетъ, то отдѣленіе звуковъ уже облегчено послѣдовательностью времени. Мы изучили въ отдѣльности первый звукъ и вслѣдствіе этого знаемъ, что мы должны отдѣлить на долю перваго звука отъ наступающаго совмѣстнаго сложнаго звука. Но если даже въ многоголосной музыкѣ нѣсколько голосовъ движутся въ одинаковомъ ритмѣ, то вступленіе звуковъ различныхъ инструментовъ и голосовъ, способъ ихъ усиленія, увѣренность ихъ выдержки, способъ, коимъ они перестаютъ звучать, все это по большей части различно. Напр. тоны фортепіано образуются вдругъ однимъ ударомъ, слѣдовательно они наиболѣе сильны въ первое мгновеніе и затѣмъ быстро ослабѣваютъ; напротивъ тоны мѣдныхъ инструментовъ образуются съ трудомъ и употребляютъ нѣкоторое время, чтобы достигнуть требуемой силы; звуки смычковыхъ инструментовъ отличаются своею чрезвычайно большою подвижностью, но если способъ игры или инструментъ не очень

совершенны, то звуки прерываются маленькими, весьма короткими паузами, которыя вызываютъ въ ухѣ ощущеніе царапанія, какъ это мы будемъ подробнѣе описывать впослѣдствіи при анализѣ скрипичнаго звука. Слѣдовательно, если такіе инструменты играютъ вмѣстѣ, то по большей части существуютъ времена, впродолженіе которыхъ тотъ или другой звукъ имѣетъ перевѣсъ, вслѣдствіе чего онъ и отдѣляется легко ухомъ. Впрочемъ, въ хорошихъ многоголосныхъ сочиненіяхъ обращается вниманіе на облегченіе отдѣленія звуковъ. Собственно въ полифонической музыкѣ, гдѣ каждый отдѣльный голосъ имѣетъ свое самостоятельное движеніе, главное средство для яснаго отдѣленія хода голосовъ заключалось въ томъ, что ихъ заставляли слѣдовать другъ возлѣ друга въ различномъ ритмѣ и въ различныхъ частяхъ такта; тамъ же, гдѣ это не совсѣмъ удобно, или же возможно только въ ограниченномъ видѣ, какъ въ старинныхъ четырехголосныхъ хоралахъ, тамъ, по бывшему правилу, слѣдуетъ, двигать три голоса на одну ступень, а четвертый на нѣсколько. Незначительное измѣненіе высоты облегчаетъ тогда слушателю удержать самостоятельность отдѣльныхъ голосовъ.

При разложеніи звуковъ на частные тоны, этихъ вспомогательныхъ средствъ не существуетъ; если воспроизводится звукъ, то воспроизводятся въ одинаковой силѣ всѣ его частные тоны; если онъ усиливается, то большею частью равномѣрно усиливаются и всѣ частные тоны. Поэтому возможность слышать эти тоны отдѣльно и самостоятельно, большею частью ограничена. Точно также, какъ смѣшиваются частные тоны отдѣльнаго источника тоновъ, точно также смѣшиваются въ регистрѣ микстуръ органа частные тоны, являющіеся при ударѣ извѣстной клавиши и движущіеся въ мелодіи точно также, какъ и ихъ основной тонъ.

Кромѣ того звуки большей части инструментовъ сопровождаются еще характеристическимъ неправильнымъ шумомъ; я напомню скрипѣніе и треніе смычка, свистъ воздуха въ флейтахъ и органныхъ трубкахъ, хрипѣніе язычковыхъ инструментовъ и т. п. Эти виды шума также значительно облегчаютъ различеніе звуковъ въ звуковой массѣ отдѣльныхъ инструментовъ, къ которымъ, какъ мы знаемъ, присоединены разные виды шума. Натурально, что этого признака недостаетъ частнымъ тонамъ звука.

И такъ, мы поэтому не должны удивляться, если разрѣшеніе звуковъ на частные тоны для нашего уха не такъ легко, какъ разрѣшеніе сложнаго звука многихъ инструментовъ на его ближайшія составныя части; даже привычному музыкальному уху нужно приложить довольно значительную степень вниманія для того, чтобы имѣть возможность разрѣшить вышеупомянутую задачу.

Легко также понять, что упомянутыя вспомогательныя средства не всегда будутъ достаточны для правильнаго отдѣленія различныхъ звуковъ, а именно сужденіе можетъ сдѣлаться сомнительнымъ при равномѣрно плавныхъ звукахъ, изъ коихъ одинъ можетъ быть разсматриваемъ какъ верхній тонъ другаго. На дѣлѣ это такъ и бываетъ. По этому поводу Омомъ предложенъ весьма поучительный опытъ надъ звуками скрипки. Опытъ гораздо лучше производить надъ простыми тонами, напр. надъ тонами закрытыхъ органныхъ трубокъ. Самое лучшее воспользоваться вдуваніемъ стеклянныхъ бутылокъ, имѣющихъ форму представленную на фиг. 20; ихъ не трудно достать и приспособить къ опыту. Посредствомъ линейки *c* къ бутылкѣ прикрѣплена въ требуемомъ положеніи гуттаперчевая трубка *a*. Обращенный къ бутылкѣ конецъ трубки смягченъ предварительно въ горячей водѣ и плосковидно сжатъ, такъ что отверстіе изображаетъ узкую щель, изъ которой вытекаетъ воздухъ въ горлышко бутылки. Если трубка соединена съ мѣхами посредствомъ гуттаперчевой трубки и въ бутылку будутъ дуть, то она издастъ тонъ, подобный гласной *U* который имѣетъ еще менѣе верхнихъ тоновъ, чѣмъ тонъ закрытой трубки и только сопровождается незначительнымъ шумомъ воздуха. Я нахожу, что при малыхъ измѣненіяхъ силы вѣтра легче получать постоянную высоту тона, чѣмъ при закрытыхъ трубкахъ. Тонъ подобной бутылки понижаютъ тѣмъ, что отчасти закрываютъ отверстіе ея горлышка наложеніемъ деревянной пластинки и повышаютъ его тѣмъ, что вливаютъ въ бутылку масло или растопленный воскъ; этимъ можно легко получить малыя измѣненія въ настройкѣ по желанію. Я настраивалъ одну большую бутылку въ *b*, другую меньшую въ *b'* и соединялъ ихъ съ тѣмъ же мѣхомъ такъ, чтобы при дѣйствіи мѣха онѣ звучали обѣ вмѣстѣ. Такимъ образомъ обѣ соединенныя бутылки давали звукъ съ высотою тона *b*, т. е. нижайшій между ними, но съ оттѣнкомъ гласной *O*. Когда я потомъ зажималъ то одну, то другую каучуковую трубку, такъ что слышалъ одинъ за другимъ оба тона въ отдѣльности, то я былъ въ состояніи распознавать ихъ еще въ отдѣльности при ихъ одновременномъ звучаніи, но не надолго; высшій тонъ по немногу смѣ-

Фиг. 20.

шивался съ низшимъ. Это смѣшеніе происходитъ и въ томъ случаѣ, когда высшій тонъ немного сильнѣе низшаго. При этомъ постепенно образующемся смѣшеніи характеристично измѣненіе оттѣнка звука. Если первоначально воспроизвели высокій тонъ, затѣмъ придали ему низкій, то, какъ я нахожу, высокій тонъ звучитъ сначала всею своею силою, затѣмъ уже звучитъ въ своемъ натуральномъ оттѣнкѣ низкій какъ *U*. Но по мѣрѣ того, какъ теряютъ воспоминаніе о высшемъ изолированно слышанномъ тонѣ, этотъ послѣдній становится менѣе явственнымъ и при этомъ слабѣе, тогда какъ низшій становится повидимому сильнѣе и звучитъ какъ *O*. Это ослабленіе высшаго и усиленіе низшаго тона было также наблюдаемо Омомъ надъ скрипкою; конечно, какъ замѣчаетъ Зеебекъ, это не всегда такъ бываетъ на дѣлѣ, потому что это по всей вѣроятности зависитъ оттого, какъ живо сохранилось воспоминаніе объ отдѣльно слышанныхъ тонахъ, и звучатъ ли они другъ съ другомъ болѣе или менѣе соразмѣрно. Но тамъ гдѣ опытъ удается, онъ даетъ самое лучшее доказательство въ томъ, что здѣсь все зависитъ въ сущности отъ различной степени вниманія. При тонахъ бутылки, кромѣ усиленія нижняго тона, весьма также замѣтно измѣненіе его оттѣнка, что весьма осязательно для поясненія сущности явленія; при рѣзкихъ скрипичныхъ звукахъ измѣненіе оттѣнка менѣе чувствительно.

Этотъ опытъ принимали также во вниманіе для подтвержденія своихъ мнѣній Зеебекъ и Омъ. Если Омъ объясняетъ обманомъ слуха ощущеніе ухомъ вполнѣ или въ частности верхнихъ тоновъ, какъ усиленіе основнаго тона (или скорѣе звука, коего высота опредѣляется высотою основнаго тона), то онъ въ этомъ случаѣ хотя и разсуждаетъ правильно, но конечно не употребляетъ совершенно точнаго выраженія, поэтому-то Зеебекъ могъ ему справедливо возразить, что ощущенія слуха должны единственно оцѣниваться ухомъ и что нельзя принимать за обманъ слуха способъ, коимъ ухо ощущаетъ тоны. Между тѣмъ, описанные нами опыты однако показываютъ, что ухо дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ различно, смотря по живости воспоминанія объ отдѣльныхъ, слившихся вмѣстѣ слуховыхъ впечатлѣніяхъ и смотря по степени напряженія вниманія. Слѣдовательно, касательно доводовъ Зеебека въ пользу самостоятельности ощущеній уха, свободно направленнаго на внѣшніе звучащіе предметы, мы можемъ сослаться на внимательное самонаблюденіе и подкрѣпленное въ своихъ наблюденіяхъ, сообразно цѣли, ухо, которое въ дѣйствительности дѣйствуетъ по закону, положенному Омомъ.

Можно еще привести здѣсь другой опытъ. Если поднять разомъ демпферы фортепіано такъ, чтобы всѣ струны могли свободно колебаться, и затѣмъ противъ самаго резонанса сильно пропѣть на лю-

бую изъ нотъ гласную *A*, то совмѣстно звучащія струны явственно дадутъ *A*; если поютъ *O*, то онѣ даютъ *O*; когда поютъ *E*, то онѣ даютъ *E*; *I* воспроизводится менѣе удачно. Опытъ удается не такъ хорошо, когда удаляютъ демпферъ только отъ той струны, которой поютъ тонъ. Вокальный характеръ отголоска происходитъ отъ того, что въ немъ звучатъ тѣ самые верхніе тоны, которые характеристичны для гласной. Но эти послѣдніе откликаются лучше и явственнѣе если соотвѣтствующія имъ высшія струны свободны и могутъ совмѣстно звучать. Слѣдовательно и здѣсь звукъ резонанса окончательно слагается изъ тоновъ многихъ струнъ и множество отдѣльныхъ тоновъ соединяются въ одинъ звукъ особаго оттѣнка. Кромѣ гласныхъ человѣческаго голоса, фортепіано подражаетъ также совершенно явственно звуку кларнета, когда играютъ на этомъ инструментѣ противъ самаго резонанса.

Впрочемъ, слѣдуетъ замѣтить, что если высота звука и опредѣляется для его музыкальнаго употребленія по основному тону, то на самомъ дѣлѣ вліяніе верхнихъ тоновъ при этомъ все таки не утрачивается. Они всегда придаютъ звуку нѣчто болѣе звучное и возвышенное. Простые тоны звучатъ заглушенно. Если ихъ сравнивать съ одинаково высокими сложенными изъ тоновъ звуками, то послѣдніе хочется переложить, относительно первыхъ, октавою выше. Это такого же рода различіе, какъ если бы на ту же ноту пѣли гласную *U*, а потомъ *A*. Впрочемъ, именно вслѣдствіе этого, сравненіе высоты звуковъ различныхъ оттѣнковъ часто становится очень затруднительно; ошибаются именно легко на октаву; въ такое заблужденіе впадали даже самые знаменитые музыканты и акустики. Такъ напр. извѣстно, что знаменитый скрипачъ и музыкальный теоретикъ Тартини (Tartini) обозначилъ всѣ комбинаціонные тоны октавою выше, въ то время какъ Генричи (Henrici) *) обозначаетъ верхніе тоны камертоновъ октавою ниже.

Окончательнымъ выводомъ изъ этого разсужденія получается слѣдующее:

1) Верхніе тоны, соотвѣтствующіе простымъ колебаніямъ сложнаго движенія воздуха, ощущаются не смотря на то, что не всегда доходятъ до сознаваемаго воспріятія.

2) Они могутъ быть доведены до сознаваемаго воспріятія безъ всякой помощи, кромѣ сообразно съ цѣлью направленнаго вниманія.

3) Даже и въ томъ случаѣ, гдѣ они не воспринимаются отдѣльно,

*) Poggd. Ann. Bd. XCIX. S. 506. Это же затрудненіе представлено Цамминеромъ (Zamminer) какъ извѣстное музыкантамъ. (Die Musik und die musicalischen Instrumente, S. 111).

а смѣшиваются въ общей звуковой массѣ, они все таки обнаруживаютъ свое существованіе въ ощущеніи измѣненія оттѣнка звука, при чемъ впечатлѣніе ихъ большей высоты особенно характеристично обнаруживается тѣмъ, что оттѣнокъ кажется болѣе рѣзкимъ и пронзительнымъ.

Въ слѣдующей главѣ будетъ болѣе подробное объясненіе объ отношеніяхъ верхнихъ тоновъ къ оттѣнку звука.

ГЛАВА V.

О различіи между музыкальными оттѣнками звука.

Въ концѣ первой главы мы видѣли, что различіе оттѣнковъ звука должно зависѣть отъ формы колебаній воздуха. Однако основанія для этого предположенія были отрицательныя. Зная, что сила звука зависитъ отъ амплитуды колебаній, а высота отъ ихъ числа, для объясненія разницы оттѣнковъ звука оставалось только различіе формы колебанія Звуковыхъ волнъ. Кромѣ того мы видѣли, что отъ формы колебанія зависитъ также существованіе и сила сопровождающихъ основной тонъ звука верхнихъ тоновъ и вслѣдствіе этого должны были заключить, что звуки одинаковаго оттѣнка должны всегда также состоять изъ тѣхъ же сочетаній частныхъ тоновъ, потому что особая форма колебанія, воспроизводящая въ ухѣ ощущеніе извѣстнаго оттѣнка, должна также всегда воспроизводить ощущеніе соотвѣтствующихъ ей верхнихъ тоновъ. При этомъ является вопросъ, какъ и на сколько зависитъ различіе оттѣнковъ звука оттого, что различные частные тоны соединены въ разныхъ звукахъ въ различной силѣ. Въ концѣ предъидущей главы мы нашли, что даже искусственно соединенные тоны могутъ слиться въ одинъ звукъ, коего оттѣнокъ замѣтно уклоняется отъ оттѣнка своихъ обоихъ частныхъ тоновъ; слѣдовательно, существованіе новаго верхняго тона дѣйствительно измѣняетъ оттѣнокъ звука. Этимъ намъ открывается путь, коимъ мы можемъ дойдти до основанія совершенно до сихъ поръ загадочной сущности оттѣнка и причинъ его различія.

Сперва слѣдуетъ замѣтить, что до сихъ поръ было общее стремленіе приписывать оттѣнку звука всевозможныя особенности звуковъ, которыя не относились прямо къ ихъ силѣ и высотѣ; это было вѣрно въ томъ отношеніи, что понятіе объ оттѣнкѣ звука могло быть опредѣляемо только отрицательно. Но если мы немного вникнемъ въ дѣло, то поймемъ, что многія изъ этихъ особенностей зависятъ отъ того, какъ звуки начинаются и какъ они кончаются. Способы, какъ звуки начинаются и какъ они кончаются, по большей части такъ ха-

рактеристичны, что для человѣческаго голоса они обозначаются рядомъ различныхъ буквъ. Мы воспользуемся для примѣра отрывистыми согласными *B*, *D*, *G* и *P*, *T*, *K*. Эти буквы образуются тѣмъ, что открываютъ закрытую полость рта или закрываютъ открытую. Для *B* и *P* это производится губами, для *D* и *T*—языкомъ и верхними зубами; для *G* и *K*—нёбомъ и верхнею поверхностью языка. Рядъ среднихъ буквъ (Mediae) отличается отъ тонкихъ (Tenues) тѣмъ, что при первыхъ, во время открыванія и закрыванія рта, голосовая щель достаточно съужена для того, чтобы имѣть возможность звучать или по крайней мѣрѣ воспроизводить незначительный шумъ воздуха; тогда какъ при тонкихъ (Tenues) голосовая щель расширена и звучать не можетъ. Поэтому среднія буквы (Mediae) сопровождены голосовымъ тономъ; этотъ послѣдній, когда онѣ начинаютъ слогъ, можетъ даже имъ немного раньше предшествовать; если же онѣ заканчиваютъ слогъ, то голосовой тонъ можетъ на мгновеніе продолжиться долѣе времени открыванія рта, потому что часть воздуха можетъ попасть въ полость рта и поддержать въ гортани колебательное движеніе голосовыхъ связокъ; вслѣдствіе съуженной голосовой щели втеканіе воздуха умѣреннѣе и поэтому шумъ воздуха менѣе рѣзокъ, чѣмъ при тонкихъ (Tenues), которыя говорятся съ открытою голосовою щелью, такъ что изъ легкихъ можетъ разомъ выходить большое количество воздуха. Но если мы такимъ образомъ и можемъ указать, какъ воспроизводятся эти буквы и слышимъ различіе въ проявленіи голосоваго тона, то всё таки мы еще не въ состояніи точно опредѣлить, какія вслѣдствіе этого производятся различія въ движеніи воздуха.

Различіе звука ударенныхъ струнъ основывается также частью, какъ при этихъ буквахъ, на скорости, съ которою теряется тонъ. Если струны имѣютъ малую плотность (каковы кишечныя струны) и прикрѣплены къ легко возбуждаемому резонансу (какъ то къ декѣ скрипки, гитары, цитры) или если части, на которыя онѣ упираются, или къ которымъ онѣ прикасаются мало упруги, (напр. если скрипичныя струны нажимаются пальцами къ грифу), то колебанія ихъ весьма быстро исчезаютъ послѣ возбужденія; тонъ становится сухъ, коротокъ и незвученъ при такихъ возбужденіяхъ, какъ при pizzicato скрипокъ. Если же напротивъ струны металлическія, имѣющія больщій вѣсъ и большую натянутость, прикрѣплены къ крѣпкимъ и тяжелымъ подставкамъ, которыя могутъ быть сотрясены немного, то онѣ передаютъ свои колебанія воздуху и резонансу медленно; ихъ колебанія удерживаются долѣе, ихъ звукъ продолжительнѣе и полнѣе, какъ напр. у фортепіано, но относительно не такъ силенъ и не такъ пронзителенъ, какъ при одинаково сильно возбужденныхъ, быстро

передающихъ тонъ струнахъ; вслѣдствіе этого, pizzicato смычковыхъ инструментовъ, исполненное хорошо, оставляетъ болѣе впечатлѣнія, чѣмъ фортепіанный тонъ. Поэтому то и фортепіано, имѣющія для струнъ тяжелыя и крѣпкія подставки, имѣютъ менѣе проникающій, но болѣе продолжительный тонъ, чѣмъ фортепіано при одинаковомъ напряженіи струнъ съ легкими подставками.

Съ другой стороны много характеристичнаго въ томъ, какъ начинаютъ звучать, большею частью тяжело и отрывисто, тоны мѣдныхъ инструментовъ (трубъ и тромбоновъ). Различные тоны въ этихъ инструментахъ воспроизводятся тѣмъ, что выводятъ различнымъ вдуваніемъ различные верхніе тоны воздушнаго столба, который раздѣляется, подобно струнѣ, на колеблющіяся части, различающіяся числомъ и длиною. Возбужденіе новыхъ колебаній, на мѣсто прежнихъ, требуетъ всегда нѣсколько бо́льшаго усилія; разъ, какъ они установились, то могутъ быть поддержаны меньшею силою теченія воздуха. Напротивъ, въ деревянныхъ духовыхъ инструментахъ, какъ то: флейтѣ, гобоѣ, кларнетѣ, гдѣ воздушный столбъ можетъ быстро измѣнять свою длину, вслѣдствіе различнаго наложенія пальцевъ на боковыя дырья и клапаны и гдѣ способъ вдуванія можетъ быть мало измѣненъ, переходъ отъ одного тона къ другому происходитъ легко.

Эти примѣры могутъ быть достаточны для того, чтобы показать какъ зависятъ извѣстныя, характеристическія особенности звука нѣкоторыхъ инструментовъ отъ того, какимъ способомъ звукъ начинается и кончается. Когда мы будемъ впослѣдствіи говорить объ оттѣнкѣ музыкальнаго звука, мы уклонимся отъ этихъ особенностей, какъ звукъ начинается и кончается, а будемъ только обращать вниманіе на особенности равномѣрно продолжающагося звука.

Но если звукъ и длится съ одинаковою или перемѣнною силою, съ нимъ смѣшиваются при большей части способовъ его возбужденія шумы, какъ проявленіе меньшихъ или большихъ неправильностей движенія воздуха. При звукахъ, поддерживаемыхъ теченіемъ воздуха въ духовыхъ инструментахъ слышатъ по большей части болѣе или менѣе явственно шипѣніе и свистъ воздуха, отражающіеся отъ острыхъ краевъ мундштука. При возбужденіи смычкомъ струнъ, прутьевъ и пластинокъ слышатъ довольно много шума отъ тренія смычка. Натянутый на смычкѣ волосъ имѣетъ конечно многія, хотя и весьма малыя неправильности; слой канифоли не абсолютно однообразно распространенъ на всей поверхности волоса; въ движеніи смычка рукою и въ силѣ нажатія проявляются также маленькія неправильности; всѣ эти неправильности имѣютъ вліяніе на движеніе струны и вслѣдствіе этого тонъ плохаго инструмента или неискуснаго исполнителя выходитъ заглушеннымъ, скрипучимъ и неровнымъ. Мы будемъ говорить

впослѣдствіи, когда разъяснимъ себѣ понятіе о дрожаніяхъ (Schwebungen, battements du son), о движеніяхъ воздуха, соотвѣтствующихъ этимъ видамъ шума, равно какъ и о слуховыхъ ощущеніяхъ. Обыкновенно, когда слушаютъ музыку, стараются не слышать эти шумы; отъ нихъ съ намѣреніемъ уклоняются, но при большемъ вниманіи ихъ слышать явственно въ большей части звуковъ получаемыхъ смычкомъ и вдуваніемъ. Большая часть согласныхъ разговорнаго языка, характеризуется, какъ извѣстно, такими продолжающимися шумами; такія согласныя суть: *F*, *W*, *S*, *Sz*, *Th* (англійское) *J*, *Ch*. При нѣкоторыхъ согласныхъ, какъ-то при *R* и *L*, звукъ дѣлается еще неправильнѣе отъ дрожанія частей рта. При *R* теченіе воздуха прерывается совершенно періодично отъ дрожанія мягкаго нёба или кончика языка; вслѣдствіе этого мы получаемъ прерывный звукъ, коего особое трескучее свойство воспроизводится именно чрезъ эту прерывность. При *L*, движимыя токомъ воздуха, неупругія боковыя части языка не производятъ полныхъ перерывовъ, но однако же производятъ варіанты въ силѣ воздуха.

Но гласныя человѣческаго голоса хотя и ближе подходятъ къ музыкальнымъ свойствамъ голосоваго тона, однако же не совершенно свободны отъ такихъ видовъ шума. На эти шумы впервые обратилъ вниманіе Дондерсъ (Donders); они частью тѣже, которые воспроизводятся для тѣхъ же гласныхъ при разговорѣ шепотомъ. Сильнѣйшіе виды шума принадлежатъ *I*, *U*, *Ü*; при этихъ гласныхъ ихъ легко сдѣлать слышимыми, если гласныя произноситъ громко; черезъ простое усиленіе шумовъ гласная *I* переходитъ въ согласную *J* и гласная *U* въ англійское *W*. Мнѣ кажется, что при разговорѣ шепотомъ шумы гласныхъ *A*, *Ä*, *E*, *O* воспроизводятся только въ голосовой щели; когда же говорятъ громко, они зарождаются въ голосовомъ тонѣ. Однако слѣдуетъ замѣтить, что гласныя *A*, *Ä* и *E* менѣе звучны при разговорѣ, чѣмъ при пѣніи, потому что вмѣсто полнозвучнаго голосоваго тона, воспроизводятъ подъ вліяніемъ чувства сильнѣйшаго давленія въ гортани болѣе отрывистый звукъ, при которомъ возможно болѣе ясное произношеніе. Здѣсь, кажется, усиленіе шума облегчаетъ характеристику особеннаго звука гласныхъ. Напротивъ, въ пѣніи стараются благопріятствовать музыкальной части звука, отчего произношеніе дѣлается менѣе яснымъ.

Но если также и въ сопровождающемъ шумѣ, т. е. въ маленькихъ неправильностяхъ воздушнаго движенія находится много характеристичнаго для звуковъ музыкальныхъ инструментовъ и для голосовыхъ тоновъ, соотвѣтствующихъ различнымъ способамъ открыванія рта, то все же еще остается достаточно особенностей оттѣнка звука, зависящихъ собственно отъ музыкальной части звука и отъ совер-

шенно правильнаго періодическаго движенія воздуха. Насколько важны послѣднія, можно именно узнать, если слушать музыкальные инструменты и человѣческій голосъ въ такомъ отдаленіи, при которомъ относительно слабый шумъ болѣе не слышенъ. Несмотря на то, что сопровождающіе звукъ шумы отсутствуютъ, есть возможность различать другъ отъ друга различные музыкальные инструменты, хотя конечно можно при такихъ обстоятельствахъ весьма легко смѣшать отдѣльные звуки рога съ звуками голоса, или віолончель съ гармоніономъ. Въ человѣческомъ голосѣ теряются сначала въ отдаленіи согласныя, характеризующіяся видами шума, тогда какъ *M*, *N* и гласныя узнаются еще въ значительномъ отдаленіи. *M* и *N* образованы подобно гласнымъ тѣмъ, что ни въ какой части полости рта не образуется шума воздуха; полость рта скорѣе закрыта, а голосовой тонъ выходитъ изъ носа. Ротъ составляетъ только усиливающую звукъ полость, которая можетъ измѣнять звукъ. Въ совершенно тихую погоду интересно слушать съ высоты голоса людей, находящихся внизу. Тогда слова болѣе не узнаваемы, за исключеніемъ только такихъ, которыя сложены изъ *M*, *N* и гласныхъ, каковы: *Mama*, *nein*. Въ выговариваемыхъ словахъ гласныя различаются легко и явственно; онѣ слѣдуютъ другъ за другомъ въ странной мѣнѣ и въ удивительныхъ проявленіяхъ повышеній и пониженій звука, такъ какъ при этомъ нельзя болѣе связать ни словъ, ни предложеній.

Въ настоящей главѣ мы будемъ уклоняться отъ всѣхъ неправильностей движенія воздуха, отъ того какъ звукъ начинается и какъ кончается, а будемъ собственно обращать вниманіе только на музыкальную часть звука, соотвѣтствующую равномѣрно правильно періодическому движенію воздуха и будемъ искать отношенія между его сложеніемъ изъ отдѣльныхъ тоновъ и оттѣнкомъ звука; особенности оттѣнка, которыя сюда относятся, мы будемъ просто называть *оттѣнкомъ музыкальнаго звука*.

Задачею настоящей главы будетъ теперь описать различное сложеніе такихъ звуковъ, какіе воспроизводятся различными музыкальными инструментами и при этомъ доказать, какимъ образомъ различный характеръ въ сочетаніи верхнихъ тоновъ соотвѣтствуетъ характеристическимъ видоизмѣненіямъ оттѣнка. При этомъ, для тѣхъ распредѣленій верхнихъ тоновъ, которыя соотвѣтствуютъ въ разговорномъ языкѣ различнымъ видамъ оттѣнка, какъ-то: *мягкому*, *рѣзкому*, *пронзительному*, *жидкому*, *полному*, *заглушенному*, *явственному* и т. д., обнаруживаются извѣстныя общія правила. Независимо отъ предстоящей здѣсь ближайшей цѣли болѣе точнаго опредѣленія физіологической дѣятельности уха, ведущей къ различе-

нію оттѣнковъ, вопроса, которымъ мы займемся въ слѣдующей главѣ, результаты этого изслѣдованія важны кромѣ того для разрѣшенія вопросовъ чисто музыкальныхъ, о которыхъ будетъ рѣчь въ слѣдующихъ главахъ этого сочиненія, потому что они намъ показываютъ, насколько вообще снабжены верхними тонами музыкально годные оттѣнки, и какимъ особенностямъ оттѣнковъ слѣдуетъ благопріятствовать въ такихъ музыкальныхъ инструментахъ, гдѣ оттѣнокъ предоставленъ произволу мастера.

Такъ какъ по этому предмету физики занимались еще относительно мало, то я буду принужденъ вдаться въ описаніе механизма воспроизведенія тоновъ большинства инструментовъ болѣе обстоятельно, чѣмъ какъ это быть можетъ покажется нужнымъ нѣкоторымъ изъ моихъ читателей; главные выводы по этому предмету они найдутъ въ концѣ этой главы. Съ другой стороны я долженъ просить снисхожденія, такъ какъ мнѣ приходится дѣлать большіе пропуски въ этомъ почти совершенно новомъ изслѣдованіи; поэтому я ограничиваюсь главнымъ образомъ тѣми инструментами, коихъ акустическая теорія достаточно извѣстна для того, чтобы была возможность постичь причины ихъ звучанія. Здѣсь лежитъ богатый матеріалъ для будущихъ интересныхъ акустическихъ трудовъ; что касается меня, то я долженъ былъ довольствоваться только тѣмъ, что нужно для послѣдовательности изслѣдованія.

1. Звуки безъ верхнихъ тоновъ.

Мы начнемъ съ тѣхъ звуковъ, которые не сложены изъ тоновъ, а состоятъ только изъ одного простаго тона. Всего чище и легче воспроизводятся такіе звуки, которые, какъ это было описано въ предъидущей главѣ, получаются отъ колебаній ударенпаго камертона, помѣщеннаго передъ отверстіемъ трубки-резонатора. Эти тоны обыкновенно мягки и свободны отъ всякой рѣзкости и грубости; они кажутся, какъ это уже было сказано прежде, ниже своей дѣйствительной высоты, такъ что тѣ изъ нихъ, которые соотвѣтствуютъ низкимъ тонамъ басоваго голоса, производятъ впечатлѣніе совершенно особаго и необыкновеннаго пониженія тона; оттѣнокъ такихъ низкихъ простыхъ тоновъ также несовсѣмъ явственъ. Простые тоны сопрано звучатъ явственно; тѣ изъ нихъ, которые соотвѣтствуютъ высшимъ тонамъ сопрано даже весьма мягки и не имѣютъ слѣда той рѣжущей ухо, или пронзительной рѣзкости, которую они обнаруживаютъ въ большинствѣ инструментовъ, за исключеніемъ почти только флейты, коей звуки довольно близки къ простымъ тонамъ потому, что они имѣютъ небольшое число слабыхъ верхнихъ тоновъ. Между

гласными человѣческаго голоса къ этимъ простымъ тонамъ ближе всего подходитъ U, хотя эта гласная и не совершенно свободна отъ верхнихъ тоновъ. Если сравнить оттѣнокъ такого простаго тона съ оттѣнкомъ сложеннаго звука, къ которому присоединяются нижайшіе верхніе гармоническіе тоны, то послѣдній имѣетъ относительно простаго тона нѣчто болѣе блестящее, металлическое и звучное. Даже гласная человѣческаго голоса U, несмотря на то, что она между всѣми гласными самая малозвучная, звучитъ замѣтно громче и не такъ заглушенно, какъ простой одинаково высокій тонъ. Разсматривая рядъ первыхъ шести частныхъ тоновъ сложнаго звука, мы можемъ его принимать въ музыкальномъ отношеніи за мажорный аккордъ съ преобладающимъ по силѣ основнымъ тономъ, и дѣйствительно такой звукъ, какъ напр.: чистый звукъ пѣнія, сравнительно съ простымъ тономъ заключаетъ совершенно ощутительно въ оттѣнкѣ нѣчто изъ привлекательнаго дѣйствія гармоническаго аккорда.

Такъ какъ форма простыхъ волнъ дана вполнѣ, если дана амплитуда колебанія, то простые тоны могутъ давать только различіе силы, но не музыкальнаго оттѣнка. Въ дѣйствительности звукъ такихъ тоновъ совершенно одинаковъ, когда, по описаннымъ способамъ, мы сообщаемъ воздуху основной тонъ камертона посредствомъ усиливающей трубки изъ любаго матеріала (стекла, металла или папки), или же посредствомъ струны; при этомъ слѣдуетъ озаботиться, чтобы въ аппаратѣ не происходило треска.

Можно получить также, какъ упомянуто было выше, простые тоны сопровождаемые только шерохомъ, вдувая во внутренность бутылки. Если только изолироваться отъ шума воздуха, то собственно музыкальный оттѣнокъ этихъ тоновъ совершенно тотъ же, какъ оттѣнокъ тоновъ камертоновъ.

2. Звуки съ верхними негармоническими тонами.

Вслѣдъ за звуками безъ верхнихъ тоновъ, мы займемся такими, коихъ верхніе тоны негармоничны съ основнымъ тономъ и которые не могутъ быть поэтому причислены по нашему опредѣленію къ музыкальнымъ звукамъ. Они употребляются въ музыкѣ только какъ исключеніе и только въ томъ случаѣ, когда основной тонъ значительно превосходитъ своею силою верхніе тоны, такъ что ими можно пренебречь. Я ихъ ставлю здѣсь непосредственно вслѣдъ за простыми тонами потому, что съ музыкальной точки зрѣнія они представляютъ болѣе или менѣе чистые простые тоны. Ближе всего сюда подходятъ тоны ударенныхъ камертоновъ, поставленныхъ на резонансъ, или же приставленныхъ весьма близко къ уху. Верхніе тоны

камертоновъ лежатъ весьма высоко; первый изъ нихъ, въ наблюденныхъ мною камертонахъ, дѣлалъ отъ 5,8 до 6,6 болѣе колебаній основнаго тона, слѣдовательно лежалъ между третьею уменьшенною квинтою и третьею большою секстою основнаго тона.

Числа колебаній этихъ высокихъ верхнихъ тоновъ относятся между собою, какъ квадраты нечетныхъ чиселъ. Въ то время, когда первый упомянутый верхній тонъ дѣлаетъ $3.3 = 9$ колебаній, послѣдующіе дѣлаютъ $5.5 = 25$, $7.7 = 49$ и т. д. колебаній. Слѣдовательно ихъ высота чрезвычайно быстро возрастаетъ и они вообще всѣ негармоничны съ основнымъ тономъ, хотя отдѣльные изъ нихъ и могутъ быть случайно гармоничными. Если мы назовемъ основной тонъ черезъ *c*, то послѣдующіе тоны будутъ приблизительно *as''*, *d''''*, *cis''''*. Эти высокіе частные тоны образуютъ при основномъ тонѣ явственное негармоническое звучаніе, которое легко слышится при ударѣ по камертону въ нѣкоторомъ отдаленіи, тогда какъ основной тонъ слышатъ только тогда, когда подносятъ камертонъ непосредственно къ уху. Ухо легко отдѣляетъ основной тонъ отъ верхнихъ тоновъ и не имѣетъ способности смѣшивать первый со вторыми. Высокіе тоны исчезаютъ обыкновенно скоро, тогда какъ основной тонъ звучитъ долго. Впрочемъ слѣдуетъ замѣтить, что отношеніе тоновъ камертона другъ къ другу въ зависимости отъ его формы; поэтому сдѣланныя выше показанія должны быть разсматриваемы только какъ приблизительныя. При теоретическомъ опредѣленіи высшихъ тоновъ каждая вѣтвь камертона можетъ быть разсматриваема, какъ прикрѣпленная однимъ изъ своихъ концовъ пластинка.

Подобное же происходитъ при прямыхъ упругихъ пластинкахъ; они даютъ при ударѣ, какъ это было уже упомянуто прежде, также довольно высокіе верхніе негармоническіе тоны. Если такія пластинки придержать на подставкѣ въ мѣстѣ обѣихъ узловыхъ линій ихъ основнаго тона, то этимъ конечно благопріятствуютъ превосходству основнаго тона надъ всѣми другими высшими тонами, которые мало мѣшаютъ, потому что они скоро затихаютъ послѣ удара; несмотря на это, пластинки мало примѣняются къ художественной музыкѣ, хотя ими недавно и пользовались по причинѣ ихъ пронзительнаго тона въ военной и танцовальной музыкѣ. Подобнымъ же образомъ прежде употребляли стеклянныя и деревянныя пластинки въ стеклянной гармоникѣ и соломенной, или деревянно-соломенномъ инструментѣ.

Пластинки сближены другъ къ другу посредствомъ двухъ паръ крученыхъ шнурковъ, находящихся въ мѣстѣ расположенія обѣихъ узловыхъ линій основнаго тона. Деревянныя пластинки соломенной

гармоники кладутся просто на цилиндрическіе пучки соломы. Пластинки ударяются деревянными или пробковыми молотками.

Матеріалъ пластинокъ имѣетъ въ этомъ случаѣ вліяніе на оттѣнокъ только тѣмъ, что отъ него зависитъ болѣе или менѣе продолжительное звучаніе различныхъ верхнихъ тоновъ. Обыкновенно, при гибкомъ металлѣ тонкой равномѣрной ковки, тоны, въ особенности же высокіе, звучатъ дольше потому, что металлъ вслѣдствіе своей значительной массы имѣетъ свойство болѣе сохранять разъ принятое движеніе и потому что самую совершенную упругость между металлами мы находимъ въ стали, въ лучшей цинковой мѣди и въ легированіи цинка съ мѣдью. Въ слабо легированныхъ благородныхъ металлахъ устойчивость звука, несмотря на меньшую упругость, увеличивается вслѣдствіе большой тяжести металла. Болѣе совершенная упругость, какъ кажется, особенно благопріятствуетъ продолжительнѣйшему существованію высшихъ тоновъ, такъ какъ быстрѣйшія колебанія заглушаются вообще скорѣе медленнѣйшихъ, вслѣдствіе несовершенной упругости и тренія. Поэтому общій признакъ того, что обыкновенно называютъ металлическимъ оттѣнкомъ, можно, какъ я полагаю, опредѣлить тѣмъ, что совмѣстно звучатъ непрерывно и равномѣрно относительно высокіе верхніе тоны. Оттѣнокъ звука стекла таковъ же; но такъ какъ ему нельзя сообщить сильныхъ сотрясеній, то его тонъ всегда слабъ и нѣженъ; онъ также относительно высокъ и, вслѣдствіе незначительной массы колеблющагося тѣла, заглушается скорѣе. Напротивъ, у дерева масса незначительна, внутреннее строеніе относительно грубо, наполнено множествомъ маленькихъ пустотъ и упругость массы относительно несовершенна; поэтому тоны, а въ особенности высокіе, заглушаются скоро. Однако быть можетъ, что вслѣдствіе этого, соломенная гармоника легче удовлетворяетъ требованіямъ музыкальнаго уха, чѣмъ гармоника, составленная изъ стальныхъ или стеклянныхъ пластинокъ, съ рѣзкими верхними негармоническими тонами; насколько именно къ музыкѣ примѣнимы простые тоны, объ этомъ будетъ болѣе говориться впослѣдствіи.

Для всѣхъ этихъ ударныхъ инструментовъ употребляютъ молотки изъ дерева или пробки; ихъ иногда покрываютъ также кожею; вслѣдствіе этого высшіе верхніе тоны дѣлаются слабѣе, чѣмъ получаемые посредствомъ твердыхъ металлическихъ молотковъ. Послѣдніе давали бы большіе перерывы въ начальномъ движеніи пластинки. Я вскорѣ буду говорить объ однородномъ вліяніи, которое проявляется отъ способа возбужденія струнъ.

Плоскія упругія пластинки, будучи вырѣзаны въ формѣ круга, овала, квадрата, прямоугольника, треугольника или шестиугольника,

могутъ звучать, какъ открылъ Хладній, въ большомъ числѣ различныхъ формъ колебаній и при этомъ давать тоны, которые между собою вообще негармоничны. На фиг. 21 представлены простѣйшія

Фиг. 21.

A B C

формы колебаній круглой пластинки; гораздо болѣе сложныя формы колебаній происходятъ въ томъ случаѣ, когда въ качествѣ узловыхъ линій существуютъ еще болѣе окружностей или діаметровъ, или же когда окружности пересѣкаются съ діаметрами. Если форма колебанія *A* даетъ тонъ *c*, то другія формы дадутъ слѣдующіе тоны:

Число узловыхъ окружностей.	Число діаметровъ.					
	0	1	2	3	4	5
0			*c*	*d'*	*c''*	*g''—gis''*
1	*gis*	*b'*	*g''*			
2	*gis''+*					

Изъ этой таблицы видно сколько такая пластинка даетъ тоновъ, лежащихъ близко относительно другъ друга. Каждый разъ, какъ ударяютъ пластинку, звучатъ всѣ тѣ изъ ея тоновъ, которые въ ударенномъ мѣстѣ не имѣютъ узловой точки. Поэтому, проявленію опредѣленныхъ отдѣльныхъ тоновъ можно благопріятствовать тѣмъ, что укрѣпляютъ пластинку въ такихъ точкахъ, которыя принадлежатъ узловымъ линіямъ искомыхъ тоновъ, тогда скорѣе исчезаютъ всѣ тѣ тоны, которые не могутъ воспроизвести узловыхъ линій въ тронутыхъ мѣстахъ. Если напр. укрѣпляютъ круглую пластинку въ трехъ точкахъ узловой окружности (фиг. 21 *C*) и ударяютъ прямо въ центръ, то получаютъ тонъ этой формы колебанія, который названъ въ нашей таблицѣ *gis*, а всѣ тоны, коихъ узловыя линіи суть діаметры окружности, становятся весьма слабыми, т. е. тоны *c*, *d*, *c''*, *g''*, *b'* нашей таблицы. Точно также тотчасъ же исчезаетъ тонъ *gis''*, имѣющій двѣ узловыя окружности, потому что точки укрѣпленія

приходятся въ одну изъ пучностей колебанія; впервые можетъ сильнѣе совмѣстно звучать только тонъ съ тремя узловыми окружностями, изъ коихъ одинъ почти совпадаетъ съ линіею № 2. Этотъ тонъ на три октавы и еще болѣе чѣмъ на одинъ цѣлый тонъ выше тона подъ № 2, и вслѣдствіе значительнаго интервала не очень мѣшаетъ послѣднему. Поэтому такой ударъ по пластинкѣ даетъ довольно хорошій музыкальный звукъ, тогда какъ вообще звукъ пластинокъ, будучи смѣшанъ изъ многихъ негармоническихъ и близъ лежащихъ другъ къ другу тоновъ, звучитъ не явственно, подобно звуку издаваемому мѣдною посудою, и для музыки негоденъ. Однако же онъ обыкновенно исчезаетъ скоро и при соотвѣтственномъ укрѣпленіи, по крайней мѣрѣ въ томъ случаѣ, когда пластинки изъ стекла, потому что соприкосновеніе до нѣсколькихъ точекъ, если онѣ даже и узловыя, всегда замѣтно ограничиваетъ свободу колебаній.

Звукъ колоколовъ сопровождается точно также верхними негармоническими тонами, которые однако не такъ близко лежатъ другъ къ другу, какъ въ плоскихъ пластинкахъ. Происходящіе обыкновенно роды колебаній такіе, въ которыхъ образуется 4, 6, 8, 10 и т. д. узловыхъ линій, находящіеся другъ отъ друга въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ верха колокола до его нижняго края. Соотвѣтствующіе тоны стеклянныхъ колоколовъ, имѣющихъ вездѣ довольно одинаковую толщину, приблизительно пропорціональны квадратамъ чиселъ: 2, 3, 4, 5; слѣдовательно если мы назовемъ нижайшій тонъ черезъ *c*, то:

Число узловыхъ линій.	4	6	8	10	12
Тоны.	*c*	*d'*	*c''*	*gis''—*	*d'''—*

Но тоны мѣняются сообразно тому, будутъ ли у́же или шире стѣнки колокола съ приближеніемъ къ ободку; въ искусствѣ отливанія колоколовъ, какъ кажется, весьма важно то, что можно сдѣлать низшіе тоны гармоничными другъ къ другу посредствомъ эмпирически найденной, сообразной формы колокола. По наблюденіямъ органиста Глейца *) (Gleitz), колоколъ эрфуртскаго собора, отлитый въ 1477 году, даетъ слѣдующіе тоны: *E*, *c*, *gis*, *h*, *c' gis'*, *h'*, *cis''*. Колоколъ церкви Св. Павла въ Лондонѣ даетъ *a* и *cis'*; Гемони (Hemony) изъ

*) Geschichtliches über die grosse Glocke und die übrigen Glocken des Domes zu Erfurt. Erfurt 1867. Смотри также Schafhäutl im Kunst und Gewerbeblatt für das Königreich Bayern 1868, LIV, стр. 325 до 350 и отъ 385 до 427.

Цютпфена (Zütpfen), мастеръ 17 столѣтія, требовалъ отъ хорошаго колокола три октавы, двѣ квинты, одну большую и одну малую терцію. Самый сильный тонъ не нижайшій; верхняя часть (Kessel) колокола, будучи ударена, даетъ болѣе низкіе тоны, чѣмъ его нижній край (Schallring); послѣдній же даетъ, напротивъ, самые громкіе. Впрочемъ возможны также еще другія формы колебаній колокола, при которыхъ образуются узловыя окружности, параллельныя нижнему краю; однако эти окружности, какъ кажется, образуются съ трудомъ и еще не изслѣдованы.

Если колоколъ не совершенно симметриченъ относительно своей оси, напр. если стѣнка въ одномъ мѣстѣ своего протяженія немного толще, чѣмъ въ другомъ, то колоколъ даетъ вообще при ударѣ два немного различающихся другъ отъ друга тона, которые даютъ вмѣстѣ дрожанія. На нижнемъ краю колокола существуетъ четыре мѣста, находящіяся другъ съ другомъ подъ прямыми углами, гдѣ только одинъ изъ этихъ тоновъ слышенъ безъ дрожаній; другой тонъ слышенъ одинъ въ четырехъ промежуточныхъ мѣстахъ между первыми; если же ударить гдѣ либо въ другомъ мѣстѣ, то звучатъ оба тона и даютъ дрожанія, которыя слышимы въ большинствѣ колоколовъ при замираніи ихъ звука.

Натянутыя перепонки даютъ также негармоническіе, довольно близко лежащіе другъ къ другу, тоны; если нижайшій тонъ *c*, то они для круглой перепонки распредѣляются по высотѣ слѣдующимъ образомъ:

Число узловыхъ линій.		Т о н ъ.
Діаметры.	Окружности.	
0	0	*c*
1	0	*as*
2	0	*cis'*+0,1
0	1	*d'*+0,2
1	1	*g'*—0,2
0	2	*b'*+0,1

Эти тоны исчезаютъ очень скоро. Если перепонки будутъ соединены съ какою либо воздушною средою, какъ это у литавръ, то отношеніе тоновъ можетъ быть измѣнено, и этимъ, какъ кажется, благопріятствуютъ въ силѣ основному тону относительно другихъ. Касательно второстепенныхъ тоновъ литавръ болѣе подробныхъ изслѣдованій еще не имѣется. Хотя литавры и употребляются въ инструментальной музыкѣ, но только для того, чтобы давать отдѣльные

акценты; если ихъ настраиваютъ, то не для того, чтобы дополнять ихъ тономъ аккорды, а только для того, чтобы не нарушать общей гармоніи.

Общность до сихъ поръ описанныхъ инструментовъ заключается въ томъ, что они, будучи ударены, даютъ верхніе негармоническіе тоны; если они лежатъ близъ основнаго тона, то звукъ въ высшей степени немузыкаленъ, плохъ и дребезжитъ. Если верхніе тоны значительно отстоятъ отъ основнаго тона и слабы, то хотя тонъ и дѣлается музыкальнѣе, какъ у камертоновъ, пластинковыхъ гармоникъ, колоколовъ и болѣе годенъ для маршей и для другаго рода шумливой музыки, гдѣ надо выдѣлять особенно ритмъ, по собственно въ художественной музыкѣ, какъ было замѣчено выше, всегда пренебрегали такими инструментами, что конечно имѣло полнѣйшее основаніе, потому что если верхніе негармоническіе тоны и исчезаютъ скоро, тѣмъ не менѣе они нарушаютъ весьма непріятнымъ образомъ гармонію, когда они снова повторяются при каждомъ ударѣ. Необыкновенно поразительнымъ доказательствомъ только что сказаннаго можетъ быть слѣдующій примѣръ: не такъ давно странствовала труппа лицъ (называвшихъ себя шотландцами), игравшихъ на колоколахъ и исполнявшихъ довольно искусно всевозможныя музыкальныя пьесы; точность и ловкость исполненія были несомнѣнны, но музыкальный эффектъ, вслѣдствіе массы частныхъ фальшивыхъ, сопровождающихъ музыку тоновъ, былъ ужасенъ несмотря на то, что отдѣльные ударенные колокола, какъ только кончалась длительность ихъ ноты, заглушались тѣмъ, что ихъ ставили на столъ обтянутый сукномъ.

Названныя тѣла съ негармоническими тонами можно также заставить звучать скрипичнымъ смычкомъ и устранить при этомъ, посредствомъ заглушенія въ узловыхъ линіяхъ желаемаго тона, ближайшіе верхніе тоны. Тогда одинъ тонъ звучитъ, пересиливая всѣ другіе, и слѣдовательно могъ бы быть скорѣе употребляемъ какъ музыкальный; но скрипичный смычекъ во всѣхъ этихъ тѣлахъ съ верхними негармоническими тонами, т. е. камертонахъ, пластинкахъ, колоколахъ даетъ весьма скрипучій шумъ, и при изслѣдованіи посредствомъ трубокъ-резонаторовъ оказывается, что этотъ шумъ составленъ главнымъ образомъ изъ верхнихъ негармоническихъ тоновъ пластинки, которые слышимы короткими неправильными ударами. Прежде уже было упомянуто, что перемежающіеся звуки даютъ впечатлѣніе звяканія или царапанія. Только тогда, когда возбужденное смычкомъ тѣло имѣетъ верхніе гармоническіе тоны, оно можетъ вполнѣ подчиниться каждому двигающему толчку, который ему сообщаетъ смычекъ и даетъ вполнѣ музыкальный тонъ. Это именно

основано на томъ, что каждое произвольное періодическое движеніе, какое стремится воспроизвести смычекъ, можетъ быть сложено изъ движеній, соотвѣтствующихъ верхнимъ гармоническимъ тонамъ, но не изъ другихъ негармоническихъ, колебательныхъ движеній.

3. Звуки струнъ.

Теперь мы приходимъ къ анализу собственно музыкальныхъ звуковъ, которые характеризованы верхними гармоническими тонами. По роду возбужденія мы ихъ можемъ раздѣлить на такіе, которые приходятъ въ звучаніе: 1) посредствомъ удара; 2) посредствомъ смычка; 3) посредствомъ вдуванія противъ остраго края; 4) посредствомъ вдуванія на упругіе язычки. Первые двѣ категоріи обнимаютъ только струнные инструменты, такъ какъ струны, кромѣ не употребляемыхъ въ музыкѣ продольно колеблющихся прутьевъ, единственныя твердыя тѣла, которыя даютъ чистые верхніе гармоническіе тоны; къ третьей категоріи принадлежатъ флейты и флейтовыя трубки органа; къ четвертой,—остальные духовые инструменты и человѣческій голосъ.

Струны возбуждаемыя посредствомъ удара. Изъ употребляемыхъ теперь музыкальныхъ инструментовъ сюда относятся: фортепіано, арфа, гитара, цитра; изъ физическихъ монохордъ, приспособленный къ болѣе точному изслѣдованію законовъ колебаній струнъ; сюда слѣдуетъ также причислить pizzicato смычковыхъ инструментовъ. Уже прежде было упомянуто, что ударенныя или дернутыя струны даютъ звуки съ значительнымъ количествомъ верхнихъ тоновъ. Относительно дернутыхъ струнъ мы имѣемъ то преимущество, что обладаемъ развитою теоріею ихъ движеній, изъ которой непосредственно выводится сила ихъ верхнихъ тоновъ. Въ предъидущей главѣ мы уже сравнивали часть выводовъ этой теоріи съ опытомъ и нашли, что они съ нимъ согласуются. Совершенно такая же полная теорія можетъ быть построена и для того случая, когда струна была ударена въ одной изъ своихъ точекъ твердымъ острокаймленнымъ тѣломъ. Задача менѣе проста, если струну ударяютъ мягкими упругими молотками, какъ напр. фортепіанными; однако и для этого случая можетъ быть выведена теорія движенія струны, которая по крайней мѣрѣ будетъ заключать существенныя черты явленія и дастъ понятіе о силѣ верхнихъ тоновъ *).

Сила верхнихъ тоновъ въ звукѣ приведенной въ звучаніе струны зависитъ вообще:

1) Отъ способа воспроизведенія звука.

*) Смотри приложеніе № V.

2) Отъ мѣста возбужденія струны.

3) Отъ толщины, сопротивленія и упругости струны.

Что касается способа воспроизведенія звука, то струна можетъ быть дернута, оттягивая ее въ сторону пальцемъ или штифтомъ (плектрумомъ кольца цитры), и затѣмъ освобождена. Этотъ способъ возбужденія тона встрѣчается во многихъ древнихъ и современныхъ струнныхъ инструментахъ. Изъ современныхъ я только назову: арфу, гитару и цитру. При другомъ способѣ воспроизведенія звука, струна можетъ быть ударена молотковиднымъ тѣломъ, какъ это бываетъ въ фортепіано и въ его древнѣйшихъ видоизмѣненіяхъ, какъ-то въ шпинетѣ и т. д. Я уже замѣтилъ выше, что сила и число высокихъ верхнихъ тоновъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ родъ движенія проявляетъ больше перерывовъ и чѣмъ они рѣзче. Это обусловливаетъ также разницу при различномъ способѣ возбужденія струны. Если струна будетъ дернута, то палецъ, прежде чѣмъ ее освободить, отклонитъ ее во всю длину изъ положенія равновѣсія. Перерывъ происходитъ въ струнѣ только оттого, что она образуетъ болѣе или менѣе острый уголъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ она отклонена пальцемъ или штифтомъ. Если ее дергаютъ штифтомъ, то уголъ острѣе, чѣмъ когда ее возбуждаютъ пальцемъ. Поэтому въ первомъ случаѣ слышатъ также болѣе рѣзкій звукъ съ большимъ количествомъ высокихъ звенящихъ верхнихъ тоновъ, чѣмъ въ послѣднемъ. Однако сила основнаго тона во всякомъ случаѣ больше силы каждаго верхняго тона. Если струна будетъ ударена, а именно острокаймленнымъ металлическимъ молоткомъ, который тотчасъ же отскакиваетъ, то будетъ непосредственно приведенъ въ движеніе только единственный пунктъ, пораженный ударомъ. Непосредственно послѣ удара остальная часть струны остается еще въ покоѣ; она приходитъ въ движеніе только тогда, когда изъ удареннаго пункта произойдетъ волна движенія и пробѣжитъ по струнѣ взадъ и впередъ. Ограниченіе первоначальнаго движенія въ одной точкѣ струны даетъ наиболѣе рѣзкій перерывъ и, соотвѣтственно этому, длинный рядъ верхнихъ тоновъ, сила которыхъ по большей части равняется или превышаетъ силу *) основнаго тона. Если молотокъ мягокъ и упругъ, движеніе имѣетъ время распространиться по струнѣ прежде, чѣмъ онъ отскочитъ; посредствомъ удара такого молотка, ударенная часть струны не будетъ разомъ приведена въ движеніе, но ея скорость постепенно и постоянно возрастаетъ въ продолженіе времени соприкосновенія молотка. Прерывность движенія чрезвычайно этимъ уменьшается и тѣмъ болѣе,

*) Въ этомъ выраженіи и въ послѣдующихъ сила измѣряется объективною живою силою и механическою работою соотвѣтствующаго движенія.

чѣмъ молотокъ мягче; сообразно этому значительно убываетъ и сила высшихъ верхнихъ тоновъ.

Въ справедливости сказаннаго можно легко убѣдится на каждомъ фортепіано съ поднятою крышкою. Если опустить клавишу, посредствомъ наложенной на нее тяжести, то соотвѣтствующая струна освобождается отъ своего демпфера и тогда ее можно по произволу дергать пальцемъ или штифтомъ, или же ударять металлическимъ штифтомъ или фортепіаннымъ молоткомъ. При этомъ получаютъ совершенно различные роды звуковъ. Когда струну дергаютъ или ударяютъ твердымъ металломъ, то звукъ рѣзокъ и звенитъ; при нѣкоторомъ вниманіи въ немъ слышатъ безъ труда множество весьма высокихъ тоновъ. Если струну дергаютъ пальцемъ, или ударяютъ мягкимъ молоткомъ инструмента, то высокіе тоны исчезаютъ; звукъ становится менѣе громкимъ, мягче и благозвучнѣе. Различная сила основнаго тона также легко узнается. Онъ едва слышимъ, когда струну ударяютъ металломъ; соотвѣтствующій же ему звукъ кажется совершенно жидкимъ. Звукъ, обозначенный нами какъ жидкій, проявляется въ томъ случаѣ, когда верхніе тоны слишкомъ сильны относительно основнаго тона. Основной тонъ звучитъ съ наибольшею полнотою въ томъ случаѣ, когда струну дергаютъ пальцемъ; при этомъ звукъ полнозвученъ и гармониченъ. Основной тонъ не такъ полнозвученъ, по крайней мѣрѣ въ среднихъ и низшихъ октавахъ, при ударѣ по струнѣ фортепіаннымъ молоткомъ, какъ при игрѣ на щипокъ.

Въ этомъ слѣдуетъ искать основаніе, почему фортепіанные молотки выгодно обтягивать толстыми слоями сильно прессованнаго и сдѣлавшагося по этому упругимъ войлока. Наружные слои самые мягкіе и гибкіе, внутренніе же тверже. Верхняя поверхность молотка ударяется о струну безъ слышимаго толчка; нижніе слои даютъ именно ту силу упругости, посредствомъ которой молотокъ отбрасывается снова отъ струны. Если его вынуть и имъ сильно ударить о столъ или объ стѣну, то онъ отскочитъ какъ резиновый мячикъ и отъ этихъ неупругихъ тѣлъ. Чѣмъ молотокъ тяжелѣе и чѣмъ слои войлока толще, какъ это въ молоткахъ низшихъ октавъ, тѣмъ время соприкосновенія къ струнѣ больше. Молотки высшихъ октавъ легче и обтянуты болѣе тонкими слоями войлока. Очевидно, что фортепіанные мастера дошли до соотношенія упругости молотка къ тону струны постепенною практикою. Качество молотка имѣетъ чрезвычайно большое вліяніе на оттѣнокъ звука. Теорія показываетъ, что при ударѣ усиливаются тѣ верхніе тоны, коихъ половина продолжительности колебанія почти равняется времени соприкосновенія молотка къ струнѣ, тогда какъ напротивъ исчезаютъ тѣ верхніе тоны,

коихъ половина продолжительности колебанія въ 3, 5, 7 и т. д. разъ болѣе.

По моимъ опытамъ надъ весьма хорошимъ новымъ роялемъ Кайма и Гюнтера (Kaim und Günther), первый слабый или исчезающій верхній тонъ въ среднихъ или низшихъ октавахъ повидимому большею частью седьмой; часто также таковымъ бываетъ шестой или пятый; при этомъ часто обнаруживаются различія въ лежащихъ непосредственно другъ подлѣ друга клавишахъ. Изъ этого слѣдуетъ, что время, въ продолженіи котораго молотокъ прилегаетъ къ струнѣ, соотвѣтствуетъ приблизительно $1/2$ продолжительности колебанія втораго тона струны. Напротивъ въ высшихъ октавахъ упомянутое время, какъ кажется, приближается, или даже превосходитъ половину продолжительности колебанія основнаго тона. Впослѣдствіи будетъ показано, какимъ образомъ на основаніи этихъ фактовъ вычисляется сила для отдѣльныхъ верхнихъ тоновъ.

Второе обстоятельство, которое имѣетъ вліяніе на сложеніе звука, есть мѣсто возбужденія струны. Уже въ предъидущей главѣ, при изслѣдованіи закона, положеннаго Омомъ для анализа звуковъ посредствомъ уха, было замѣчено, что въ звукѣ какъ дернутой, такъ и ударенной струны, недостаютъ тѣ верхніе тоны, которые имѣютъ узловую точку въ мѣстѣ ея возбужденія. Напротивъ изъ остальныхъ наиболѣе сильны тѣ, которые имѣютъ въ возбужденномъ мѣстѣ maximum колебанія. Вообще, когда возбуждаютъ струну въ различныхъ точкахъ ея длины, сила верхнихъ тоновъ возрастаетъ или ослабляется пропорціонально величинѣ амплитуды простаго колебанія струны въ мѣстѣ возбужденія. Такимъ образомъ, сложеніе звука струны можетъ разнообразно видоизмѣняться отъ измѣненія мѣста возбужденія.

Если напр. струну ударяютъ совершенно по срединѣ, гдѣ лежитъ узловая точка втораго частнаго тона, то онъ исчезаетъ. Напротивъ третій тонъ, коего узловыя точки лежатъ на $1/3$ и $2/3$ длины струны, выступаетъ сильно, такъ какъ мѣсто удара лежитъ въ срединѣ этихъ двухъ узловыхъ точекъ. Четвертый тонъ имѣетъ свои узловыя точки на $1/4$, $2/4$ $(= 1/2)$ и $3/4$ длины струны. Онъ исчезаетъ, потому что мѣсто удара совпадаетъ съ его второю узловою точкою; точно также исчезаютъ шестой, восьмой и вообще всѣ четные тоны, въ то время какъ слышимы пятый, седьмой, девятый и другіе нечетные тоны. Въ самомъ дѣлѣ, струна, будучи ударена по срединѣ, получаетъ, вслѣдствіе отсутствія четныхъ тоновъ, особый оттѣнокъ звука, который существенно отличается отъ обыкновеннаго звука струны; будучи ударена по срединѣ, она звучитъ нѣсколько заглушенно или гнуситъ. Опытъ можетъ быть легко исполненъ на любомъ фортепіано, когда

поднята его крышка и струны освобождены отъ демпферовъ. Средину струны находятъ скоро и достаточно точно тѣмъ, что отъискиваютъ то мѣсто, въ которомъ слѣдуетъ слегка дотронуться пальцемъ для того, чтобы получить при ударѣ чисто и звучно первый верхній тонъ.

Если ударить на $^1/_3$ длины струны, то недостаютъ третій, шестой, девятый и т. д. тоны; это придаетъ тону родъ заглушенія, хотя значительно менѣе, чѣмъ ударъ по срединѣ струны. Если мѣсто удара струны приблизить къ одному изъ ея концовъ, то благопріятствуютъ проявленію весьма высокихъ верхнихъ тоновъ въ ущербъ основному тону и низкимъ верхнимъ тонамъ; отъ этого звукъ струны становится жидкимъ и звенящимъ.

На фортепіано, мѣсто удара среднихъ струнъ перемѣщено на $^1/_7$ и $^1/_9$ длины струнъ; мы должны предполагать, что эти мѣста такъ выбраны потому, что они, какъ показываетъ опытъ, даютъ въ музыкальномъ отношеніи наилучшіе и наиболѣе годные тоны для гармоническихъ комбинацій. Это не есть результатъ какой либо теоріи, но единственно слѣдствіе потребности художественно развитаго слуха и технической опытности двухъ столѣтій; поэтому изслѣдованіе сложенія звука при этомъ мѣстѣ удара представляетъ особый интересъ. Существенное преимущество выбора этого мѣста, кажется, основывается на томъ, что седьмой и девятый частные тоны исчезаютъ или, по крайней мѣрѣ, дѣлаются очень слабыми. Эти тоны первые въ ряду верхнихъ тоновъ, которые не принадлежатъ мажорному трезвучію основнаго тона. До шестаго тона мы имѣемъ только октавы, квинты и большія терціи; седьмой приблизительно малая септима, а девятый большая секунда. Слѣдовательно эти послѣдніе не входятъ въ мажорное трезвучіе. Пользуясь фортепіаномъ, можно легко убѣдиться на дѣлѣ, что въ то время, какъ первые шесть тоновъ, по крайней мѣрѣ струнъ среднихъ и нижнихъ октавъ, дѣлаются легко слышимыми при ударѣ по клавишѣ и прикосновеніи до соотвѣтствующихъ узловыхъ точекъ, не удается воспроизвести седьмаго, восьмаго и девятаго тона; они весьма несовершенны и слабы. Здѣсь трудность ихъ воспроизведенія не происходитъ отъ того, что струна не можетъ дать столь короткихъ колебаній; въ самомъ дѣлѣ, если вмѣсто удара по клавишѣ, дернуть струну поближе къ одному изъ ея концовъ пальцемъ и заглушить соотвѣтствующую узловую точку, то получатъ весьма явственно 7, 8, 9 и даже 10 и 11 частные тоны. Струны становятся слишкомъ короткими и не гибкими для воспроизведенія высокихъ верхнихъ тоновъ только въ высшихъ октавахъ. Многіе инструментальные мастера выбираютъ въ этомъ случаѣ мѣсто удара еще ближе къ концу струны; этимъ достигается болѣе явственный и пронзительный звукъ. Посредствомъ такого выбора мѣста удара, верхніе тоны, воспроизводимые съ трудомъ, вслѣдствіе малой гибкости короткихъ струнъ, будутъ сравнительно съ основнымъ тономъ благопріятствуемы. Подобнымъ же образомъ получаютъ болѣе явственный, но за то болѣе высокій и жидкій звукъ, подставляя подставку подъ одну изъ низкихъ струнъ, ближе къ мѣсту удара, такъ чтобы молотокъ попадалъ въ такую точку, которая была бы удалена менѣе чѣмъ на $^1/_7$ длины струны отъ ея конца.

Если съ одной стороны можно сдѣлать звукъ звонче, рѣзче и пронзительнѣе, ударяя струну болѣе твердымъ металломъ, то съ другой стороны, ударяя струну мягкимъ и тяжелымъ молоткомъ, напр. маленькимъ желѣзнымъ, коего поверхность удара покрыта слоемъ каучука, можно сдѣлать тонъ заглушеннѣе, т. е. сдѣлать основной тонъ превосходящимъ верхніе тоны. Струны низшихъ октавъ даютъ въ особенности болѣе полный, но заглушенный звукъ. Чтобы быть здѣсь въ состояніи сравнить различные звуки струны, соотвѣтствующіе различнымъ свойствамъ молотка, надо однако обращать вниманіе на то, чтобы постоянно ударять въ томъ же разстояніи отъ одного изъ концовъ струны, какъ и молотокъ инструмента; иначе этимъ смѣшиваются измѣненія звука, которыя зависятъ отъ положенія мѣста удара. Натурально, что эти условія вполнѣ извѣстны инструментальнымъ мастерамъ, потому что они сами выбрали болѣе тяжелые и мягкіе молотки для низкихъ октавъ, болѣе легкіе и менѣе мягкіе для высокихъ. Но если они и остановились на извѣстномъ размѣрѣ молотковъ и не видоизмѣнили ихъ такъ, чтобы еще болѣе ограничить силу верхнихъ тоновъ, то это ясно доказываетъ, что въ инструментѣ, предназначенномъ для сложныхъ гармоническихъ комбинацій, привычное музыкальное ухо предпочитаетъ звукъ снабженный верхними тонами извѣстной силы. Въ этомъ отношеніи для теоріи музыки сложеніе звука фортепіанныхъ струнъ имѣетъ большой интересъ. Ни въ какомъ другомъ инструментѣ не имѣется такой широкой измѣнчивости оттѣнка звука, какъ здѣсь; поэтому музыкальное ухо нигдѣ не пользуется такою свободою въ выборѣ оттѣнка, какъ здѣсь.

Я уже выше обратилъ вниманіе на то, что въ фортепіанныхъ струнахъ среднихъ и низшихъ октавъ могутъ быть явственно воспроизведены ударомъ по клавишамъ первые шесть частныхъ тоновъ, а именнно первые три съ нѣкоторою силою; 5 и 6, хотя и явствено, но все-таки гораздо слабѣе; 7, 8 и 9 исчезаютъ, вслѣдствіе положенія мѣста удара; тоны, которые еще выше, постоянно весьма слабы. Для ближайшаго сравненія, я прилагаю здѣсь таблицу, въ которой сила частныхъ тоновъ струны теоретически вычислена для

различныхъ способовъ извлеченія звука посредствомъ формулъ, выведенныхъ въ приложеніяхъ.

Дѣйствіе удара посредствомъ молотка зависитъ отъ времени, въ продолженіи котораго онъ прилегаетъ къ струнѣ. Это время показано въ таблицѣ въ частяхъ продолжительности колебанія основнаго тона. Кромѣ того здѣсь находится вычисленіе для струны дернутой пальцемъ. Мѣсто извлеченія звука во всѣхъ случаяхъ на $^1/_7$ длины струны.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СИЛА ЧАСТНЫХЪ ТОНОВЪ.

Мѣсто извлеченія звука на $^1/_7$ длины струны.						
Число по порядку частнаго тона.	Извлеченіе звука посредствомъ дерганія.	Извлеченіе звука посредствомъ молотка, коего соприкосновеніе длится, $^2/_7$ продолжительности колебанія основнаго тона c''	$^3/_{10}$ g'	$^3/_{14}$ $C_1—c'$	$^3/_{20}$	Извлеченіе звука посредствомъ совершенно твердаго молотка.
1	100	100	100	100	100	100
2	81,2	99,7	189,4	249	285,7	324,7
3	56,1	8,9	107,9	242,9	357,0	504,9
4	31,6	2,3	17,3	118,9	259,8	504,9
5	13,0	1,2	0,0	26,1	108,4	324,7
6	2,8	0,01	0,5	1,3	18,8	100,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Для лучшаго сравненія, сила основнаго тона постоянно принята равною 100. Я сравнивалъ вычисленную силу верхнихъ тоновъ съ ихъ дѣйствительною силою въ упомянутомъ выше роялѣ и нашелъ, что первый рядъ чиселъ, написанный подъ $^3/_7$, соотвѣтствовалъ приблизительно силѣ тоновъ звука c''. При болѣе высокомъ расположеніи, верхніе тоны становились еще слабѣе, чѣмъ это показано въ столбцѣ. При ударѣ клавиши c'', я получалъ второй тонъ сильно; третій былъ совершенно ничтоженъ. Второй столбецъ съ дробью $^3/_{10}$ соотвѣтствуетъ приблизительно g'; оба первые верхніе тона здѣсь весьма сильны, четвертый слабъ. Третій столбецъ соотвѣтствуетъ болѣе низкимъ струнамъ, начиная отъ c' внизъ; первые четыре частные тона здѣсь сильны, пятый слабѣе. Въ слѣдующемъ столбцѣ третій частный тонъ сильнѣе втораго, чего уже не встрѣчалось въ звукахъ изслѣдованнаго мною рояля. Наконецъ, при совершенно твердомъ молоткѣ, третій и четвертый тоны дѣлаются одинаково сильными и сильнѣйшими изъ всѣхъ. Изъ показанныхъ чиселъ въ таблицѣ выходитъ, что въ фортепіанныхъ звукахъ среднихъ и болѣе низкихъ

октавъ основной тонъ слабѣе перваго или даже обоихъ первыхъ верхнихъ тоновъ. Это можетъ быть также подтверждено упомянутыми уже сравненіями съ дернутыми струнами. Въ этихъ послѣднихъ второй тонъ немного слабѣе перваго; однако основной тонъ выходитъ въ звукѣ гораздо явственнѣе, когда фортепіанную струну дергаютъ пальцемъ, чѣмъ когда, дѣйствуя на клавишу, ее ударяютъ молоткомъ.

И такъ, хотя возможно воспроизвести звукъ, въ которомъ, какъ это показываетъ механика высшихъ октавъ фортепіано, преобладаетъ основной тонъ, однако ударъ по низшимъ струнамъ предпочли устроить такъ, чтобы верхніе тоны были явственными до пятаго или шестаго и чтобы второй и третій тоны были бы даже сильнѣе перваго.

Наконецъ, какъ я упомянулъ выше на оттѣнокъ звука имѣетъ также вліяніе толщина и вещество струны. Именно при весьма негибкихъ струнахъ не могутъ образоваться весьма высокіе верхніе тоны, потому что такія струны не легко воспринимаютъ противоположныя искривленія въ весьма короткихъ частяхъ. Это легко замѣчаютъ, когда натягиваютъ на монохордъ двѣ струны различной толщины, стараясь воспроизвести ихъ высокіе верхніе тоны; это удается гораздо лучше на тонкой струнѣ, чѣмъ на толстой. Для воспроизведенія высокихъ верхнихъ тоновъ наиболѣе выгодны струны совершенно тонкой проволоки, на подобіе употребляемыхъ позументщиками, и если употребляютъ способъ извлеченія звука, свойственный воспроизведенію высокихъ верхнихъ тоновъ, напр. если ударяютъ или дергаютъ струну металлическимъ штифтомъ, то это слышатъ по звуку. Многочисленные высокіе верхніе тоны, которые лежатъ весьма близко другъ къ другу въ скалѣ, даютъ именно тотъ особенно высокій негармоническій шумъ, который мы обыкновенно обозначаемъ словомъ звенѣніе. Отъ 8-го частнаго тона эти тоны удалены другъ отъ друга менѣе, чѣмъ на цѣлую ступень, начиная съ 15-го, менѣе, чѣмъ на полъ-ступени. Поэтому они составляютъ тѣсный рядъ диссонирующихъ тоновъ. Изъ струны тончайшей желѣзной проволоки въ 700 сантиметровъ длины, въ родѣ той, которая употребляется для приготовленія искусственныхъ цвѣтовъ, я могъ еще получать изолированнымъ 18-й тонъ. Особенность звуковъ цитры основывается на присутствіи такихъ высокихъ звенящихъ верхнихъ тоновъ; только рядъ верхнихъ тоновъ не идетъ въ этихъ звукахъ такъ далеко вверхъ, какъ при упомянутой желѣзной проволокѣ, вслѣдствіе того, что ея струны короче.

Кишечныя струны, при одинаковой крѣпкости съ металлическими, гораздо ихъ легче и потому даютъ болѣе высокіе тоны. На этомъ отчасти основывается различіе звука обоихъ видовъ струнъ, частью

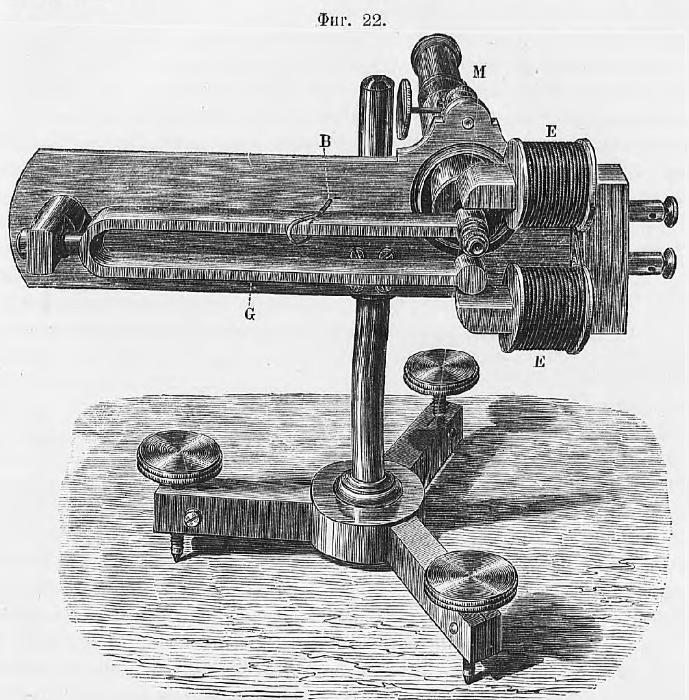
же на менѣе совершенной упругости кишечныхъ струнъ, отчего ихъ тоны, въ особенности же высокіе, заглушаются скорѣе. Поэтому звукъ дернутыхъ кишечныхъ струнъ (гитары, арфы) звенитъ менѣе, чѣмъ звукъ металлическихъ.

4. Звуки смычковыхъ инструментовъ.

Для движенія струнъ возбуждаемыхъ смычкомъ, не можетъ еще быть дано никакой полной механической теоріи, потому что не знаютъ, какимъ образомъ на движеніе струны вліяетъ смычекъ. Однако, посредствомъ особаго способа, предложеннаго въ общихъ чертахъ французскимъ физикомъ Лиссажу, я нашелъ возможнымъ наблюдать форму колебанія отдѣльныхъ точекъ скрипичной струны и изъ наблюденной формы колебанія, которая относительно весьма проста, вычислить цѣлое движеніе струны и силу ея верхнихъ тоновъ. Пусть смотрятъ сквозь лупу, имѣющую весьма сильно увеличивающее двояко выпуклое стекло, на маленькій свѣтлый объектъ, напр. на крахмальное зернышко, которое отражаетъ свѣтъ пламени и кажется въ видѣ весьма малой свѣтлой точки. Если лупу двигать кверху и книзу въ то время, какъ свѣтлая точка находится въ покоѣ, то эта послѣдняя, видимая сквозь лупу, будетъ казаться колеблющеюся вверхъ и внизъ. Въ аппаратѣ, которымъ я пользовался и который изображенъ на фиг. 22, эта лупа прикрѣплена къ оконечности одной изъ вѣтвей камертона G и обозначена черезъ L. Она составлена изъ двухъ ахроматическихъ стеколъ, какія употребляются въ микроскопѣ какъ объективъ. Эти два стекла можно употреблять безъ присоединенія къ нимъ еще другихъ стеколъ, или просто какъ лупу; если же нуждаются въ болѣе сильномъ увеличеніи, то за металлическою дощечкою, которая поддерживаетъ камертонъ, помѣщаютъ трубку и окулярную часть микроскопа, объективъ котораго составляется тогда изъ упомянутыхъ стеколъ. Если приборъ, который мы можемъ назвать микроскопомъ вибрацій, ставятъ такъ, что черезъ него ясно видятъ неподвижную свѣтлую точку, и затѣмъ приводятъ камертонъ въ колебанія, то система стеколъ передвигается имъ періодически вверхъ и внизъ, а именно въ видѣ простаго маятникообразнаго колебанія. Вслѣдствіе этого, наблюдателю кажется, что будто сама свѣтлая точка движется вверхъ и внизъ и такъ какъ отдѣльныя колебанія слѣдуютъ другъ за другомъ съ такою скоростью, что впечатлѣніе свѣта въ глазѣ не можетъ исчезнуть въ продолженіе одного колебанія, то путь свѣтлой точки является въ видѣ неподвижной

прямой линіи, которая тѣмъ длиннѣе, чѣмъ размахи камертона больше *).

Фиг. 22.



Крахмальное зернышко, отъ котораго воспринимаютъ отраженіе свѣта, прикрѣпляютъ къ тому звучащему тѣлу, форму колебанія котораго желаютъ наблюдать; это послѣднее приводится въ такое положеніе, что если система стеколъ движется вверхъ и внизъ вертикально, то зернышко движется прямо и обратно горизонтально. Если оба рода движенія происходятъ одновременно, то наблюдатель видитъ свѣтлую точку, движущеюся прямо и обратно, какъ горизонталь-

*) Конецъ другой вѣтви камертона утолщенъ и составляетъ противовѣсъ лупѣ. Желѣзная скобка B, прищемленная къ верхней вѣтви, служитъ для того, чтобы немного измѣнять высоту тона камертона; если ее передвинуть къ концу вѣтви, то тонъ становится ниже. E электромагнитъ, который поддерживаетъ равномѣрныя колебанія, когда проводятъ черезъ проволоку прерывные токи, какъ это будетъ описано подробнѣе въ шестой главѣ.

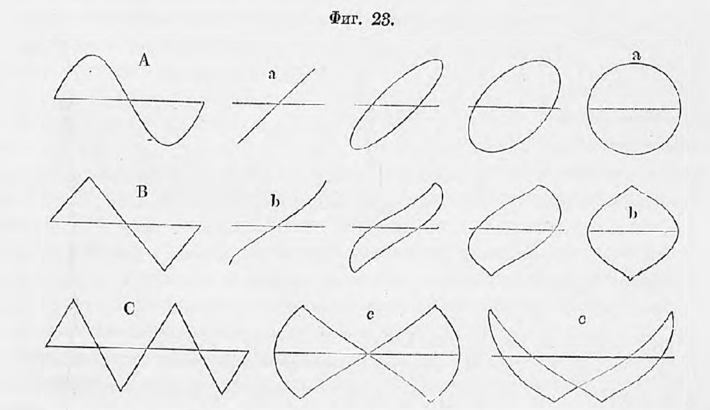
но, соотвѣтственно ея дѣйствительному движенію, такъ и передвигающеюся повидимому вслѣдствіе движенія стеколъ прямо и обратно вертикально; при этомъ оба рода перемѣщеній слагаются съ одно криволинейное движеніе. Если періоды колебаній свѣтлой точки и камертона совершенно одинаковы, или одинъ изъ нихъ ровно въ 2, 3 или 4 раза болѣе другаго, то въ полѣ зрѣнія микроскопа является совершенно неподвижная и неизмѣнная яркая кривая, потому что въ этомъ случаѣ свѣтлая точка постоянно повторяетъ совершенно тотъ же путь, который она пробѣгала прежде. Если эти отношенія чиселъ колебаній соблюдены не совершенно точно, то кривыя измѣняются медленно, а именно кажется, какъ будто бы онѣ начерчены на поверхности сквознаго цилиндра, медленно вращающагося около своей оси. Такое медленное перемѣщеніе кривыхъ не представляетъ невыгоды, потому что наблюдатель видитъ ихъ тогда послѣдовательно въ разныхъ положеніяхъ. Но если отношеніе чиселъ колебаній наблюдаемаго тѣла и камертона уклоняется отъ отношенія, выраженнаго малыми цѣлыми числами, то движеніе кривыхъ происходитъ слишкомъ скоро для того, чтобы глазъ могъ за нимъ слѣдовать и тогда все запутывается.

Если должно примѣнить микроскопъ вибрацій къ изслѣдованію движенія скрипичной струны, то къ ней слѣдуетъ прикрѣпить отражающее свѣтъ зернышко. Съ этою цѣлью струну обмазываютъ какою нибудь черною клейкою краскою и осыпаютъ крахмальною пылью, отъ которой къ ней прилипаетъ нѣсколько зернышекъ. Затѣмъ скрипка укрѣпляется противъ микроскопа такъ, чтобы струны были расположены вертикально и чтобы, смотря въ микроскопъ, можно было легко видѣть отраженіе свѣта одного изъ крахмальныхъ зернышекъ. Смычекъ двигаютъ по струнѣ параллельно вѣтвямъ камертона; при этомъ каждая точка струны колеблется горизонтально; эти особенныя кривыя колебаній наблюдатель видитъ при одновременномъ движеніи камертона. Я пользовался для наблюденія скрипичною струною *a*, которую строилъ немного выше въ *b'*, такъ что она была выше камертона аппарата, который давалъ *B*, ровно на двѣ октавы.

На фиг. 23 изображены кривыя колебаній, какими онѣ представляются сквозь микроскопъ вибрацій. Горизонтальныя прямыя линіи фигуръ *aa*, *bb* и *cc* изображаютъ кажущійся путь наблюдаемой свѣтлой точки, предъ тѣмъ она приведена сама въ колебаніе; кривыя и ломаныя тѣхъ же фигуръ представляютъ, напротивъ, путь свѣтлой точки, когда она колеблется. Рядомъ съ ними въ фиг. *A*, *B*, *C*, представлены тѣже формы колебаній, изображенныя по способу предложенному въ первой и второй главѣ, причемъ отдѣльныя части го-

ризонтальной основной линіи прямо пропорціональны соотвѣтствующимъ частямъ времени, тогда какъ въ фигурахъ *aa*, *bb* и *cc* горизонтальныя длины пропорціональны перемѣщеніямъ колеблющейся чечевицы. *A* и *aa* изображаютъ кривыя колебаній камертона, слѣдовательно простое колебаніе; *B* и *bb* кривыя срединной точки скрипичной струны, которая находится въ однозвучіи съ камертономъ микроскопа вибрацій; *C* и *cc* означаютъ тоже для струны, настроенной октавою выше. Можно себѣ представить фиг. *aa*, *bb* и *cc* составленными изъ фигуръ *A*, *B* и *C*, если вообразить поверхность на которой изображены послѣднія, обернутою на сквозной цилиндръ, коего окружность равняется горизонтальной основной линіи этихъ фигуръ. Начерченная на поверхности цилиндра кривая пусть будетъ тогда

Фиг. 23.



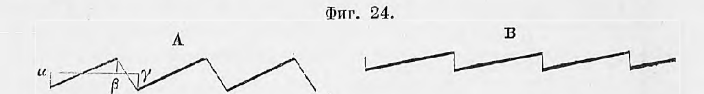
разсматриваема наблюдателемъ изъ такой точки, чтобы перспектива окружности основанія цилиндра, составленная обернутою горизонтальною, казалась бы ему прямою линіею; тогда кривыя колебаній будутъ ему представляться такъ: *A* въ формѣ *aa*, *B* въ формѣ *bb*, *C* въ формѣ *cc*. Если высота тона обоихъ колеблющихся тѣлъ не въ совершенно точномъ гармоническомъ отношеніи, то представляется, что будто бы этотъ воображаемый цилиндръ, на которомъ изображена кривая колебанія, вращается.

Изъ формъ *aa*, *bb* и *cc* легко также найти снова *A*, *B* и *C*, и такъ какъ послѣднія даютъ болѣе наглядное изображеніе движенія струны, чѣмъ первыя, то я впослѣдствіи буду изображать видимыя кривыя, находящіяся, какъ предположено, на поверхности цилиндра такъ, какъ будто эта поверхность развернута въ плоскость; такое изображеніе дастъ формы аналогичныя *A*, *B* и *C*. Тогда значе-

ніе нашихъ кривыхъ колебаній будетъ совершенно соотвѣтствовать подобнымъ же кривымъ, изображеннымъ въ прошлыхъ главахъ. Если четыре колебанія скрипичной струны приходятся на одно колебаніе камертона, какъ это и было въ нашихъ опытахъ, т. е. если четыре волны должны казаться изображенными на поверхности воображаемаго цилиндра и если онѣ еще медленно вращаются и являются въ различныхъ положеніяхъ, то ихъ весьма нетрудно тотчасъ же изобразить развернутыми на плоскости, потому что средніе зубчики кажутся тогда на поверхности цилиндра приблизительно такими же, какъ будто бы они были начерчены на плоскости.

Въ фигурѣ 24, *B* и *C* даютъ непосредственно форму колебанія для средины скрипичной струны, если ее хорошо захватываетъ смычекъ и если ея основной тонъ проявляется полно и сильно. Легко видѣть, что эта форма колебанія существенно отличается отъ формы простаго колебанія, изображенной на фиг. 23 *A*. Ближе къ концамъ струны форма колебанія измѣняется въ изображенную на фиг. 24 *A* и оба отрѣзка каждой волны $\alpha\beta$ и $\beta\gamma$ относятся между собою, какъ длины частей струны, находящіяся по обѣ стороны наблюдаемой точки. Въ фигурѣ отношеніе 1 : 3 какъ оно проявляется при удаленіи на $^1/_4$

Фиг. 24.



длины струны отъ ея конца. Совершенно къ концу струны форма становится какъ на фиг. 24 *B*; при этомъ короткія части фигуры освѣщены такъ слабо потому, что скорость свѣтлой точки чрезвычайно велика, такъ что онѣ часто ускользаютъ отъ глаза; остаются же только длинныя части линіи.

Эти фигуры даютъ возможность убѣдиться, что каждая точка струны движется прямо и обратно съ постоянною скоростью между двумя конечными точками ея колебанія. Для срединной точки, скорость съ которою она подымается, равна скорости, съ которою она опускается. Если близь праваго конца струны провести смычкомъ внизъ (absteigend, en tirant), то скорость опусканія на правой половинѣ струны будетъ меньше скорости поднятія и тѣмъ меньше, чѣмъ ближе приближаются къ концу. На лѣвой половинѣ струны происходитъ обратное. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ проводятъ смычкомъ, скорость опусканія струны кажется равною скорости движенія смычка. Во время большей части каждаго колебанія струна здѣсь прилегаетъ къ смычку и имъ увлекается; затѣмъ она вдругъ освобождается и быстро отскакиваетъ назадъ, чтобы тотчасъ же снова быть захваченною и увлеченною другою точкою смычка *).

Для предстоящей намъ цѣли, главное заключается въ опредѣленіи верхнихъ тоновъ. Такъ какъ мы знаемъ форму колебанія отдѣльныхъ точекъ струны, то изъ нея можетъ быть вполнѣ вычислена сила отдѣльныхъ верхнихъ тоновъ. Математическія формулы для этого вычисленія находятся въ приложеніи. Самое вычисленіе даетъ слѣдующее: если смычекъ проводится правильно, то струна содержитъ всѣ верхніе тоны, которые могутъ образоваться при существующей степени ея упругости; эти тоны убываютъ въ силѣ сообразно ихъ высотѣ. Размахъ колебанія, равно какъ и сила втораго тона составляютъ четвертую часть тѣхъ же величинъ основнаго тона, третьяго—девятую, четвертаго-шестнадцатую и т. д. Это точно такое же отношеніе силы верхнихъ тоновъ, какъ и въ струнѣ приведенной въ движеніе посредствомъ щипка ея средины, съ тою только разницею, что въ послѣдней недостаютъ всѣ четные тоны, которые напротивъ воспроизводятся, когда проводятъ смычкомъ. Впрочемъ въ звукѣ скрипки верхніе тоны слышатъ очень легко и сильно, въ особенности же когда ихъ воспроизводятъ въ качествѣ флажолетныхъ тоновъ. Послѣдніе, какъ извѣстно, получаются тѣмъ, что въ то время, когда проводятъ по струнѣ смычкомъ, дотрогиваются до нея слегка пальцемъ въ одной изъ узловыхъ точекъ желаемаго тона. Скрипичные струны даютъ легко верхніе тоны до шестаго; съ нѣкоторымъ трудомъ доходятъ и до десятаго. Низкіе тоны воспроизводятся всего лучше, если струну возбудить смычкомъ на разстояніи отъ $^1/_{10}$ до $^1/_{12}$ длины одного колеблющагося дѣленія отъ ея конца; для высшихъ тоновъ, гдѣ колеблющіяся дѣленія становятся меньше, надо проводить смычкомъ приблизительно отъ $^1/_4$ до $^1/_6$ ихъ длины отъ конца.

Основной тонъ въ звукѣ смычковыхъ инструментовъ относительно сильнѣе, чѣмъ въ ударенныхъ или дернутыхъ близь ихъ конца струнахъ фортепіано или гитары; въ смычковыхъ инструментахъ первые верхніе тоны относительно слабѣе; напротивъ высокіе верхніе тоны отъ шестаго примѣрно до десятаго, гораздо явственнѣе и производятъ рѣзкость звука этихъ инструментовъ.

Описанная уже прежде, основная форма колебаній скрипичныхъ струнъ, по крайней мѣрѣ въ ея существенныхъ чертахъ, достаточно независима отъ того мѣста, гдѣ проводятъ смычкомъ, если только струна вообще хорошо звучитъ; ея форма колебанія отнюдь не мѣняется такимъ же образомъ, какъ измѣняется форма колебанія дернутой

*) Описанные здѣсь факты достаточны для того, чтобы вполнѣ опредѣлить движеніе струнъ возбуждаемыхъ смычкомъ. См. прил. № V.

или ударенной струны отъ перемѣны мѣста удара. Однако въ формѣ колебанія все таки дѣлаются замѣтными малыя измѣненія, зависящія отъ мѣста проведенія смычкомъ. Обыкновенно линіи фигуры колебанія представляютъ маленькія извилины, какъ на фиг. 25, коихъ зубчики возрастаютъ по ширинѣ и вышинѣ тѣмъ болѣе, чѣмъ больше удаляется смычекъ отъ конца струны. Если провести по струнѣ смычкомъ въ узловой точкѣ одного изъ высшихъ верхнихъ тоновъ, близкаго къ подставкѣ, то эти извилины уменьшатся просто такъ, что изъ описаннаго прежде нормальнаго движенія струны отпадутъ всѣ тѣ тоны, которые имѣютъ узловую точку въ возбужденной смычкомъ точкѣ. Если наблюденіе формы колебанія будетъ производиться въ одной изъ остальныхъ узловыхъ точекъ, принадлежащихъ нижайшему исчезающему тону, то извилинъ видно не будетъ. Слѣдовательно, если проводятъ смычкомъ на разстояніи $^1/_7$ длины струны отъ подставки, или наблюдаютъ на $^6/_7$, или на $^5/_7$, или на $^4/_7$ и т. д., то фигура колебанія проста, какъ на фиг. 24, но если наблюдаютъ между двумя узловыми точками, являются извилины, какъ на фиг. 25. Отъ этого частью зависятъ измѣненія въ оттѣнкѣ звука. Если при проведеніи смычкомъ приближаются слишкомъ къ грифу, коего конецъ находится отъ подставки на $^1/_5$ длины струны, то въ звукѣ недостаютъ 5-й и 6-й тоны, которые въ другихъ случаяхъ еще оба бываютъ явственно слышимы; вслѣдствіе этого звукъ становится нѣсколько заглушеннѣе. Обыкновенное мѣсто проведенія смычкомъ лежитъ примѣрно на $^1/_{10}$ длины струны отъ подставки и берется немного дальше отъ подставки для piano и немного ближе для forte. Если смычекъ приближаютъ къ подставкѣ, нажимая его слегка на струну, то происходитъ другое измѣненіе звука, которое легко распознается въ фигурѣ колебанія; при этомъ именно образуется смѣшеніе основнаго тона съ первымъ флажолетнымъ тономъ струны. При легкомъ и быстромъ штрихѣ, удаленномъ примѣрно на $^1/_{20}$ длины струны отъ подставки, получаютъ иногда одну только высшую октаву основнаго тона, потому что въ срединѣ струны образуется узловая точка; при болѣе сильномъ нажиманіи смычкомъ звучитъ одновременно и основной тонъ; при этомъ высшая октава можетъ смѣшиваться въ любомъ отношеніи; это может быть тотчасъ распознаваемо въ фигурѣ колебанія. Фиг. 26 представляетъ при этомъ измѣненіи послѣдовательный рядъ формъ.

Фиг. 25.

Фиг. 26.

Изъ фигуры видно, какъ изъ болѣе длинной стороны волноваго возвышенія подымается новый зубецъ, сперва немного, а затѣмъ все болѣе и болѣе, пока новыя зубчатыя возвышенія не сдѣлаются такими же высокими, какъ и предшествующія, при чемъ число колебаній тона удвоится и высота его перейдетъ въ октаву. Оттѣнокъ нижайшаго звука струны, вслѣдствіе начинающагося вліянія перваго верхняго тона, дѣлается мягче и явственнѣе, но менѣе полнымъ и сильнымъ. Впрочемъ, весьма интересно наблюдать фигуру колебанія, измѣняя мало по малу движеніе смычка и при этомъ замѣчать какъ малыя измѣненія въ оттѣнкѣ постоянно тотчасъ же весьма замѣтно отражаются въ формѣ колебанія.

При весьма равномѣрномъ движеніи смычка можно получить всѣ описанныя здѣсь формы, выражающіяся правильными, спокойными и неизмѣнными кривыми; при этомъ инструментъ даетъ чистый непрерывный музыкальный звукъ. Напротивъ, всякое скрипѣніе смычка узнается внезапными и скачкообразными перемѣщеніями и измѣненіями формы колебанія. Если скрипѣніе продолжительно, то глазъ совсѣмъ не имѣетъ времени уловить правильную фигуру. Скрипучіе шумы смычка могутъ быть слѣдовательно разсматриваемы какъ неправильные перерывы нормальныхъ колебаній струны, послѣ чего послѣдніе начинаются снова и съ новой начальной точки. Впрочемъ, всѣ малѣйшіе толчки смычка, едва замѣтные для слуха, обозначены въ фигурѣ колебанія быстрыми скачками. Плохіе смычковые инструменты, какъ кажется отличаются отъ хорошихъ именно многочисленностью такихъ малыхъ и большихъ нарушеній правильнаго колебанія. На струнѣ моего монохорда, который былъ употребляемъ какъ смычковый инструментъ только случайно, нужна была большая чистота при проведеніи смычкомъ, чтобы сохранить форму колебанія спокойною только на такое короткое время, чтобы ее можно было еще уловить глазомъ; впрочемъ звукъ былъ грубый и скрипѣніе весьма значительно. Напротивъ, пользуясь очень хорошею новою скрипкою Бауша (Bausch), фигуру колебанія было легче сохранить спокойною на нѣкоторое время и это удавалось мнѣ еще гораздо луч-

ше, когда я пользовался старою итальянскою скрипкою Гваданини (Gvadanini); на этой скрипкѣ я въ первый разъ имѣлъ фигуру колебанія столь спокойною, что могъ считать маленькіе зубчики. Эта большая равномѣрность колебанія составляетъ очевидно причину болѣе чистаго тона этихъ старыхъ инструментовъ, потому что всякая малая неправильность тотчасъ же распознается ухомъ въ качествѣ чего-то грубаго и скрипучаго въ тонѣ.

Весьма вѣроятно, что въ этомъ случаѣ конструкція инструмента и возможно совершенная упругость дерева благопріятствуютъ весьма правильнымъ колебаніямъ струны, и если они дѣйствительно существуютъ, то смычекъ дѣйствуетъ также легко правильно. Этимъ обусловливается чистое, свободное отъ всякой грубости теченіе тона. Но съ другой стороны, при такой правильности колебаній, струна, возбужденная смычкомъ, можетъ звучать съ большею силою; поэтому хорошіе инструменты допускаютъ сильнѣйшее движеніе струнъ и вся сила ихъ тона передается безъ потери воздуху, тогда какъ всякое несовершенство въ упругости дерева допускаетъ потерю части движенія отъ тренія. Значительное преимущество старыхъ скрипокъ можетъ зависѣть отъ ихъ долгаго существованія и въ особенности отъ ихъ продолжительнаго объигриванія; оба эти условія могутъ благопріятно дѣйствовать на упругость дерева. Но очевидно, что болѣе всего значенія имѣетъ искусство владѣть смычкомъ; до какой тонкости оно должно быть развито, чтобы получить по возможности вѣрно совершенный звукъ и его различныя видоизмѣненія, въ этомъ ничѣмъ нельзя лучше убѣдиться какъ посредствомъ наблюденія фигуръ колебаній. Извѣстно также, что искусные исполнители извлекаютъ полный тонъ даже изъ посредственныхъ инструментовъ.

Представленные до сихъ поръ наблюденія и выводы относятся единственно къ колебаніямъ струнъ инструментовъ и къ силѣ верхнихъ тоновъ, содержащихся въ сложномъ колебательномъ движеніи струны. Но тоны различной высоты не одинаково хорошо передаются воздуху и поэтому поражаютъ ухо слушателя не въ томъ же отношеніи силы, которое приходится на ихъ долю въ движеніи струны. Передача воздуху происходитъ посредствомъ резонанса инстумента; какъ я уже замѣтилъ прежде, колеблющіяся струны не передаютъ непосредственно воздуху никакой замѣтной части ихъ движенія. Колеблющіяся скрипичныя струны сотрясаютъ сначала подставку, черезъ которую онѣ натянуты. Послѣдняя стоитъ на двухъ ножкахъ, на самой подвижной части верхней деки, находящейся между двумя эсами. Одна изъ ножекъ подставки стоитъ на относительно твердомъ основаніи, а именно надъ такъ называемою душкою, твердою палочкою, помѣщенною между внутренними поверхностями верхней и нижней декъ. Другая ножка сотрясаетъ одни упругія деревянныя части инструмента, передающія сотрясенія внутренней массѣ воздуха его тѣла.

Воздушная среда, ограниченная деревянными дощечками, какъ напр. въ скрипкѣ, альтѣ и віолончелѣ, имѣетъ извѣстные собственные тоны, которые можно получить посредствомъ вдуванія въ одинъ изъ эсовъ ящика. По Савару (Savart), который наблюдалъ инструментъ Страдиварія (Stradivario), вдуваемая такимъ образомъ скрипка даетъ тонъ *c'*; Цамминеръ (Zamminer) находилъ постоянно тотъ же самый тонъ во многихъ довольно посредственныхъ инструментахъ. Саваръ нашелъ для віолончеля, посредствомъ вдуванія—*F*, Цамминеръ—*G*. По вычисленію послѣдняго ящикъ альта тономъ ниже скрипичнаго. Если приложить ухо къ нижней декѣ скрипичнаго ящика и играть на фортепіано гамму, то найдутъ, что нѣкоторые тоны проникаютъ въ ухо посредствомъ резонанса инструмента усиленными. Въ скрипкѣ Бауша въ особенности выдавались такимъ образомъ два тона болѣе сильнаго резонанса, именно промежуточные между *c'* и *cis'*, и *a'* и *b'*; въ альтѣ я нашелъ, согласно съ вычисленіемъ Цамминера, оба тона лежащими приблизительно ниже на одну ступень.

Изъ этихъ особыхъ явленій резонанса слѣдуетъ, что тѣ тоны струны, которые близки къ собственнымъ тонамъ внутренней массы воздуха инструмента, должны выходить относительно сильнѣе. Это ясно замѣчаютъ какъ на скрипкѣ, такъ и на віолончелѣ, по крайней мѣрѣ для нижайшаго собственнаго тона, если воспроизводятъ на струнахъ соотвѣтствующія ноты. Онѣ звучатъ особенно полно, и основной тонъ этихъ звуковъ выдается особенно сильно. Мнѣ кажется, что я слышалъ въ слабѣйшей степени тоже самое и для скрипичнаго *a'*, соотвѣтствующему болѣе высокому собственному тону скрипки.

Такъ какъ нижайшій тонъ скрипки *g*, то среди верхнихъ тоновъ звуковъ этой струны могутъ быть немного усилены только высшія октавы ея трехъ нижайшихъ нотъ, посредствомъ резонанса высшаго собственнаго тона воздуха ящика. Напротивъ, основные тоны, въ особенности ея болѣе высокихъ нотъ, благопріятствуемы сравнительно съ верхними тонами, потому что упомянутые основные тоны подходятъ ближе къ массѣ воздуха скрипичнаго ящика, чѣмъ верхніе тоны. Этимъ воспроизводится дѣйствіе, схожее съ дѣйствіемъ на фортепіано, гдѣ, вслѣдствіе конструкціи молоточковъ, благопріятствуется также верхнимъ тонамъ низкихъ нотъ, а высокихъ наоборотъ. У віолончеля, нижайшая струна котораго даетъ тонъ *C*, сильнѣйшій собственный тонъ воздушной массы лежитъ, также какъ и въ скрипкѣ, квартою или квинтою выше тона нижайшей струны. Отсюда происходитъ подобное же отношеніе благопріятствуемыхъ и неблаго-

пріятствуемыхъ тоновъ, но съ тою разницею, что всѣ дуодецимою ниже. У альта, напротивъ, наиболѣе благопріятствуемые тоны, соотвѣтствующіе приблизительно *h'*, лежатъ не между тонами первой и второй струны, а между второю и третьею, что, повидимому, находится въ связи съ измѣненнымъ оттѣнкомъ звука этого инструмента. Къ сожалѣнію это вліяніе не можетъ быть еще выражено цифрами. Maximum резонанса для собственныхъ тоновъ воздушной массы инструмента не очень сильно, не то бы это вызвало гораздо большую неровность въ гаммѣ упомянутыхъ струнныхъ инструментовъ, какъ только бы проходили ту часть гаммы, въ которой находятся собственные тоны ихъ массъ воздуха. Сообразно этому слѣдуетъ предположить, что и вліяніе на относительную силу отдѣльныхъ частныхъ тоновъ звуковъ этихъ инструментовъ не особенно рѣзко.

5. Звуки флейтовыхъ трубокъ.

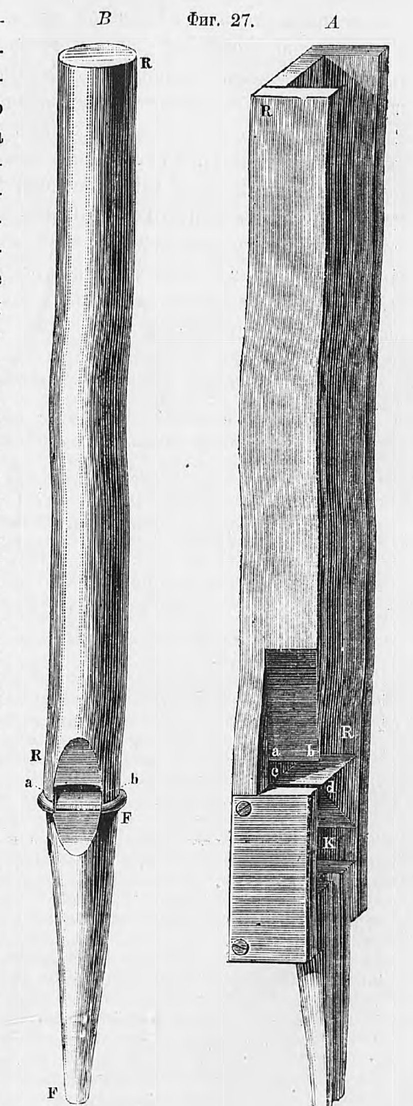
Въ инструментахъ, принадлежащихъ къ этой категоріи, тонъ воспроизводится тѣмъ, что направляютъ струю воздуха противъ отверстія съ острыми краями, соединяющагося съ какою либо ограниченною воздушною средою. Сюда относятся, кромѣ уже упомянутыхъ въ предъидущей главѣ и изображенныхъ на фиг. 20 бутылокъ, главнѣйшимъ образомъ флейты и большая часть органныхъ трубокъ. Звучащая масса воздуха въ флейтахъ заключена въ цилиндрической полости ихъ тѣла; вдуваніе производится ртомъ противъ немного заостренныхъ краевъ амбушюра. Конструкція органныхъ трубокъ изображена въ прилагаемыхъ здѣсь двухъ фигурахъ. Фиг. 27 *A* представляетъ четырехъугольную деревянную трубу въ продольномъ разрѣзѣ; *B* наружный видъ круглой оловянной трубки. *RR* изображаетъ въ обѣихъ трубку, заключающую звучащую массу воздуха; *ab*—амбушюръ, ограниченный сверху острою губою, у котораго вдуваютъ. На фиг. 27 *A* видна у *K* воздушная камера, въ которую вгоняется первоначально воздухъ изъ мѣховъ; воздухъ можетъ изъ нея исходить только чрезъ узкую щель *cd* и будетъ здѣсь какъ разъ гонимъ противъ остраго края губы.

Изображенная здѣсь деревянная труба *A* сверху открыта; она даетъ тонъ, коего волна въ воздухѣ вдвое длиннѣе длины трубы *RR*. Другая труба закрытая, т. е. закрытъ ея верхній конецъ. Она даетъ тонъ, коего волна вчетверо длиннѣе длины трубы *RR* и который поэтому на октаву ниже, чѣмъ тонъ одинаково длинной открытой трубы.

Можно довести точно также до звучанія какъ флейты, такъ и описанныя нами бутылки, ящики скрипокъ и вообще всякую замкнутую воздушную среду, снабженную достаточно узкимъ отверстіемъ, на которое направляютъ узкій, лентообразный токъ воздуха; при этомъ предполагается, что отверстіе снабжено нѣсколько выступающими и острыми краями.

На краяхъ вдуваемаго отверстія лежитъ мѣсто зарожденія тона всѣхъ этихъ инструментовъ; такъ какъ о нихъ разбивается гонимый на нихъ токъ воздуха и воспроизводитъ особенный свистящій и шипящій шумъ, который слышится отдѣльно каждый разъ какъ труба не приводится въ звучаніе, или же если вмѣсто амбушюра трубы вдуваютъ соотвѣтствующее отверстіе какой бы то ни было пластинки. Чѣмъ уже отверстіе, чѣмъ сильнѣе вѣтеръ, тѣмъ шумъ отъ вдуванія становится выше. Такой шумъ можно разсматривать, какъ уже было объяснено прежде, какъ смѣшеніе многихъ лежащихъ близко другъ къ другу негармоническихъ тоновъ. Если теперь къ этому присоединяется полость трубы, то, посредствомъ резонанса, она усиливаетъ тѣ изъ тоновъ шума, которые соотвѣтствуютъ ея собственнымъ тонамъ, такъ что они своею силою превосходятъ и покрываютъ всѣ другіе. Отъ этого, при всѣхъ такихъ трубахъ, слышатъ всегда болѣе или менѣе явственно, что тонъ сопровождается шумомъ, который придаетъ нѣчто особенное оттѣнку звука. Точно также, какъ тоны шу-

Фиг. 27.



ма воздуха воспроизводимаго въ трубахъ усиливаются резонансомъ, можетъ быть также усиленъ тонъ приближеннаго камертона къ отверстію трубки, если высота его тона соотвѣтствуетъ одному изъ собственныхъ тоновъ воздушной массы трубки; собственные тоны трубки можно опредѣлить легко и скоро посредствомъ ряда различныхъ камертоновъ *). Впрочемъ характеръ оттѣнка музыкальнаго звука этихъ трубъ зависитъ существенно отъ того, что достаточно ли или недостаточно близко подходятъ верхніе гармоническіе тоны выдуваемаго тона къ собственнымъ тонамъ трубы для того, чтобы быть усиленными также какъ и основной тонъ. Только при узкихъ цилиндрическихъ открытыхъ трубкахъ, какъ напр. въ флейтахъ и при трубахъ главнаго регистра скрипокъ, высшіе собственные тоны трубъ соотвѣтствуютъ въ точности верхнимъ гармоническимъ тонамъ основнаго тона. Посредствомъ сильнѣйшаго вдуванія, когда возбуждающій шумъ воздуха становится выше самъ, можно довести высшіе тоны трубы до звучанія въ отдѣльности. Флейта съ закрытыми дырьями, дающая при слабомъ вдуваніи d', даетъ при сильнѣйшемъ вдуваніи d'', еще при болѣе сильномъ a'' и d'''; слѣдовательно первый, второй, третій и четвертый верхніе гармоническіе тоны d'. Сообразно съ этимъ, въ узкихъ цилиндрическихъ трубкахъ будетъ также усиленъ посредствомъ резонанса трубки кромѣ основнаго тона рядъ его верхнихъ гармоническихъ тоновъ, въ особенности же при сильномъ вдуваніи, когда шумъ воздуха самъ заключаетъ многіе высшіе тоны. Соотвѣтственно этому слышатъ тоже при сильно вдуваемыхъ узкихъ цилиндрическихъ трубкахъ органа, при регистрахъ главномъ скрипокъ, віолончелей, контрабасовъ, віолей ди гамба, рядъ верхнихъ тоновъ, сопровождающихъ ясно и сильно основной тонъ, что даетъ звуку болѣе рѣзкій оттѣнокъ, подобный скрипичному. Я нахожу, что пользуясь трубками-резонаторами, въ упомянутыхъ болѣе узкихъ видахъ трубокъ, частные тоны явственно слышимы до 6-го. Напротивъ въ длиннѣйшихъ открытыхъ трубкахъ всѣ близь лежащіе собственные тоны трубы нѣсколько выше, чѣмъ соотвѣтствующіе гармоническіе тоны основнаго тона и поэтому послѣдніе усиливаются посредствомъ резонанса трубы гораздо менѣе. Длинныя трубы, которыя вслѣдствіе ихъ большей колеблющейся массы воздуха и вслѣдствіе того, что они допускаютъ сильнѣйшее вдуваніе безъ перехода въ верхній тонъ, даютъ главную звуковую массу органа и поэтому называются принципалами; онѣ издаютъ по вышеприведенной причинѣ полно и сильно единственно основной тонъ, съ болѣе слабымъ сопровожденіемъ верхнихъ тоновъ. Я нахожу, что при звучаніи деревянныхъ трубъ регистра принципаловъ, первый верхній тонъ (октава) весьма явственъ, второй (дуодецима) уже слабъ, высшіе же тоны уже явственно болѣе не воспринимаемы. При звучаніи металлическихъ трубъ былъ кромѣ того явственно воспринимаемъ четвертый частный тонъ. Оттѣнокъ звука этихъ трубъ полнѣе и мягче оттѣнка регистра главныхъ скрипокъ. При слабомъ вдуваніи въ флейтовый регистръ и въ обыкновенную флейту, верхніе тоны теряютъ также относительно болѣе силы основнаго тона и звукъ дѣлается слабымъ и мягкимъ.

*) Поэтому въ моихъ математическихъ изысканіяхъ я называлъ эти тоны также тонами сильнѣйшаго резонанса. Crelle, Journal für Mathematik. Bd LVII.

Другое измѣненіе представляютъ трубы конически съуженныя кверху при регистрахъ: салиціональ (Salicional), гемсгорнъ (Gemshorn) и шпицфлейтъ (Spitzflöte). Ихъ верхнее отверстіе равняется обыкновенно половинѣ діаметра нижняго поперечнаго разрѣза; регистръ салиціональ имѣетъ при одинаковой длинѣ самый узкій поперечный разрѣзъ, а регистръ шпицфлейтъ,— самый большой. Эти трубы, какъ я нахожу, имѣютъ ту особенность, что нѣкоторые высшіе частные тоны, отъ 5-го до 7-го относительно болѣе явственны, чѣмъ низшіе. Отъ этого звукъ не имѣетъ полноты, но особенно явственъ.

Закрытыя цилиндрическія трубы малыхъ размѣровъ имѣютъ собственные тоны, соотвѣтствующіе нечетнымъ частнымъ тонамъ основнаго тона, слѣдовательно 3-му или дуодецимѣ, 5-му или высшей терціи и т. д. При болѣе длинныхъ закрытыхъ трубахъ, какъ и при длинныхъ открытыхъ, ближайшіе собственные тоны массы воздуха лежатъ замѣтно выше, чѣмъ соотвѣтствующіе верхніе тоны основнаго тона и поэтому послѣдніе мало или вовсе не усилены. Поэтому длинныя закрытыя трубы, въ особенности же при ихъ слабомъ вдуваніи, даютъ основной тонъ почти чистымъ и мы уже прежде ихъ приводили какъ примѣръ простыхъ тоновъ. Болѣе узкія трубы даютъ весьма явственно дуодециму, что послужило поводомъ къ названію ихъ квинтатами (Quintaten, quintam tenens). Однако въ этихъ трубахъ, по крайней мѣрѣ когда ихъ сильно вдуваютъ, также весьма явственъ 5-й частный тонъ. Другое измѣненіе оттѣнка звука является въ такъ называемомъ регистрѣ рорфлейтъ (Rohrflöte). Здѣсь открытая съ двухъ сторонъ трубка вставлена въ крышку закрытой трубы, длина которой въ изслѣдованныхъ мною примѣрахъ была настолько велика, какъ должна была бы быть длина открытой трубки, которая бы давала 5-й частный тонъ звука. Вслѣдствіе этого въ этихъ трубахъ 5-й частный тонъ выдается относительно сильнѣе довольно слабаго 3-го, отчего звукъ пріобрѣтаетъ нѣчто особенно яв-

ственное. Звукъ закрытыхъ трубъ, въ которомъ недостаетъ четныхъ частныхъ тоновъ имѣетъ, сравнительно съ звукомъ открытыхъ, нѣчто заглушенное; длинные закрытые регистры звучатъ заглушенно, въ особенности же въ басу, гдѣ они звучатъ нѣжно и несильно. Однако вслѣдствіе своей нѣжности они составляютъ весьма ощутительную противоположность относительно болѣе рѣзкихъ оттѣнковъ открытыхъ узкихъ и шумныхъ трубъ регистра микстуръ, о которыхъ рѣчь уже была выше и которые, какъ извѣстно, слагаются въ одинъ звукъ посредствомъ соединенія нѣсколькихъ трубъ, соотвѣтствующихъ основному тону и его верхнимъ тонамъ.

Деревянныя трубы не даютъ такого рѣзкаго шума при вдуваніи, какъ металлическія; ихъ стѣнки не сопротивляются также такъ хорошо сотрясенію звуковыхъ волнъ, при чемъ, какъ кажется, колебанія высшихъ тоновъ легче уничтожаются отъ тренія; поэтому дерево даетъ болѣе нѣжный или заглушенный и менѣе рѣзкій оттѣнокъ звука.

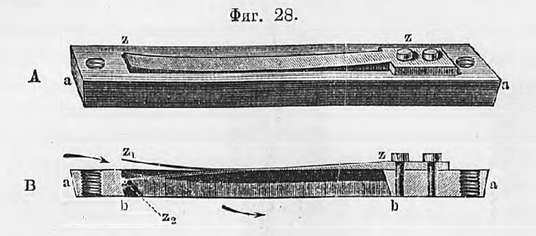
Кромѣ того общее свойство всѣхъ этихъ трубъ заключается въ томъ, что онѣ легко воспроизводятъ тонъ и поэтому допускаютъ большую подвижность музыкальныхъ фигуръ; сила же звука не допускаетъ никакой перемѣны, потому что высота тона уже замѣтно повышается отъ незначительнаго усиленія вдуванія. Вслѣдствіе этого на органѣ forte и piano должны быть воспроизведены рядомъ регистровъ, заставляя звучать то большее, то меньшее число трубъ, звучащихъ то сильно и рѣзко, то слабо и нѣжно; поэтому на этомъ инструментѣ средства экспрессіи хотя конечно и ограничены, но съ другой стороны часть его необыкновенныхъ особенностей очевидно зависитъ отъ того, что его тонъ изливается съ неизмѣнною силою безъ вліяній субъективныхъ возбужденій.

6. Звуки язычковыхъ трубокъ.

Тонъ относящихся сюда инструментовъ воспроизводится подобнымъ же образомъ какъ и въ сиренѣ тѣмъ, что путь проходимый токомъ воздуха попеременно открывается и закрывается, отчего упомянутый токъ самъ разлагается на рядъ отдѣльныхъ воздушныхъ толчковъ. Въ сиренѣ это происходитъ, какъ мы изложили выше, посредствомъ вращающагося кружка съ отверстіями; въ язычковыхъ орудіяхъ, приводимыя въ колебательное движеніе упругія пластинки или связки, поперемѣнно то закрываютъ, то открываютъ отверстіе, у котораго онѣ прикрѣплены. Сюда относятся:

1) Язычковыя трубки органа и гармоніона. Ихъ язычки, изображенные въ перспективѣ на фиг. 28 A и въ разрѣзѣ на фиг. 28 B, суть продолговато четырехъугольныя металлическія пластинки zz, прикрѣпленныя къ плоской мѣдной дощечкѣ aa, въ которой находится подъ язычкомъ отверстіе bb одинаковыхъ съ нимъ размѣровъ. Если

Фиг. 28.



язычекъ находится въ состояніи покоя, то онъ почти совершенно закрываетъ отверстіе, оставляя вдоль своихъ краевъ возможно узкую щель. Если онъ приведенъ въ колебаніе, то колеблется прямо и обратно между обозначенными на фиг. 28 B двумя положеніями z_1 и z_2. При положеніи z_1 образовывается, какъ видно, отверстіе для втекающаго воздуха, коего направленіе обозначено стрѣлкою; напротивъ, при обратномъ положеніи язычка въ z_2, отверстіе закрыто. Изображенный язычекъ, обыкновенно теперь употребляемый, проходящій. Такіе язычки немного менѣе закрываемыхъ ими отверстій, такъ что они могутъ въ нихъ вгибаться, не затрогивая ихъ краевъ. Прежде употребляли также ударяющіе язычки, которые при каждомъ колебаніи ударяли въ свою рамку; но они, вслѣдствіе ихъ дребезжащаго тона, теперь болѣе не употребляются.

Способъ прикрѣпленія язычковъ въ язычковыхъ регистрахъ органа изображенъ на фиг. 29 A и B. A имѣетъ на верху звуковую трубку, B изображаетъ продольный разрѣзъ; pp духовая трубка, въ которую вгоняется воздухъ снизу; язычекъ l находится въ желобкѣ r, который вдѣланъ въ деревянную втулку s; d проволока для настроиванія. Эта проволока нажимаетъ на язычекъ внизу; вдвигая ее глубже, язычекъ дѣлается короче и тонъ его выше; при выдвиганіи происходитъ обратное. Вслѣдствіе этого маленькія измѣненія въ высотѣ тона можно воспроизводить легко по произволу.

2) Довольно сходно съ этимъ устроены язычки кларнета, гобоя и фагота, вырѣзанные изъ упругихъ тростниковыхъ пластинокъ. Только кларнетъ имѣетъ широкій язычекъ, который прикрѣпленъ передъ соотвѣтствующимъ отверстіемъ мундштука, подобно описаннымъ металлическимъ язычкамъ, и если бы онъ имѣлъ значительную амплитуду колебаній, то бы ударялъ. Но эта амплитуда незначительна, и нажатіемъ губъ язычекъ только на столько приближаютъ къ его рамкѣ, что онъ достаточно съуживаетъ щель, не ударяя о рамку. У гобоя и фагота въ концѣ мундштука находятся другъ противъ друга

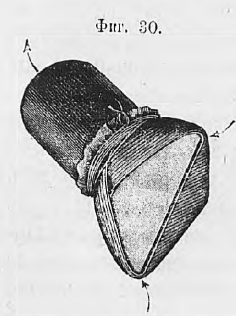
два подобныхъ тростниковыхъ язычка, которые раздѣлены узкою щелью и которые настолько сближаются другъ съ другомъ при вдуваніи, что закрываютъ щель каждый разъ, какъ колеблятся во внутрь.

Фиг. 29.

A B

3) Перепончатые язычки. Ихъ особенности лучше всего изучать на искусственно приготовленныхъ этого рода язычкахъ. Для этого обрѣзываютъ съ двухъ сторонъ и вкось верхній конецъ деревянной или гуттаперчевой трубки, какъ это показываетъ фиг. 30, такъ чтобы между двумя, обрѣзанными вкось, поверхностями оставались двѣ прямоугольныя верхушки. Затѣмъ слабо натягиваютъ двѣ ленточки вулканизированнаго каучука на обѣ поверхности такъ, чтобы онѣ между собою составляли узкую щель и обвязываютъ ихъ ниткою. Такимъ образомъ изготовляется язычковый мундштукъ, который можно по произволу соединять съ трубками или другими, наполненными воздухомъ, аппаратами. Если перепонки вгибаются, то онѣ закрываютъ щель. При выгибаніи, онѣ ее открываютъ. Подобныя косвенно расположенныя перепонки дѣйствуютъ гораздо легче, чѣмъ если ихъ располагать, согласно предложенію Іоганна Мюллера (Ioh. Müller), перпендикулярно къ оси трубки; онѣ должны тогда быть загнутыми прежде чѣмъ ихъ колебаніе можетъ начать попеременно открывать и закрывать щель. На такіе перепончатые язычки

Фиг. 30.



можно дуть какъ по направленію стрѣлокъ, такъ и въ обратномъ направленіи. Въ первомъ случаѣ, когда они направляются къ воздушному резервуару, т. е. во внутрь трубки, они открываютъ щель; я назову такіе язычки **внутренними**; при вдуваніи они даютъ всегда болѣе низкіе тоны, чѣмъ тогда, когда ихъ заставляютъ свободно звучать, безъ сообщенія съ воздушнымъ резервуаромъ. Разсмотрѣнные до сихъ поръ язычки органныхъ трубокъ, гармоніона и деревянныхъ духовыхъ инструментовъ суть также внутренніе. Но перепончатые язычки, равно какъ и металлическіе можно ставить также наоборотъ, противъ теченія воздуха, такъ чтобы они открывали путь воздуху при движеніи къ внѣшнему отверстію инструмента. Тогда я ихъ называю **внѣшними язычками**. Тоны внѣшнихъ язычковъ постоянно выше тоновъ изолированныхъ язычковъ.

Только два рода такихъ перепончатыхъ язычковъ подлежатъ разсмотрѣнію, какъ музыкальные инструменты, именно: человѣческія **губы при вдуваніи мѣдныхъ инструментовъ** и человѣческая **гортань**.

Губы должны быть разсматриваемы, какъ весьма слабо упругіе перепончатые язычки, составленные изъ множества влажныхъ неупругихъ тканей, которыя поэтому колебались бы относительно весьма медленно, если бы до этого ихъ можно было довести изолированно. Въ мѣдныхъ инструментахъ онѣ составляютъ внѣшніе язычки, которые, на основаніи только что приведеннаго правила, должны давать болѣе высокіе тоны, чѣмъ ихъ собственный. Вслѣдствіе же ихъ незначительнаго сопротивленія, онѣ легко также приводятся въ движеніе, при игрѣ на мѣдныхъ инструментахъ, отъ мѣняющагося давленія колеблющагося воздушнаго столба.

Упругія голосовыя связки въ гортани играютъ роль перепончатыхъ язычковъ. Онѣ натянуты спереди назадъ, подобно каучуковымъ повязкамъ фиг. 30, составляя между собою голосовую щель. Онѣ имѣютъ то преимущество передъ всѣми искусственно составленными язычками, что могутъ чрезвычайно быстро и точно измѣнять длину щели, свою упругость и даже форму; къ этому еще присоединяется способность къ значительнымъ измѣненіямъ полости рта; поэтому-то ими можетъ быть воспроизведено гораздо большее разнообразіе въ звукахъ, чѣмъ посредствомъ любаго музыкальнаго инструмента. Если голосовыя связки разсматривать посредствомъ ларингоскопа сверху въ то время, когда воспроизводится тонъ, то увидятъ, въ особенности при болѣе низкихъ грудныхъ нотахъ, какъ онѣ совершаютъ замѣтныя колебанія, при чемъ при ихъ движеніи во внутрь, голосовая щель совершенно плотно закрывается.

Высота тона упомянутыхъ здѣсь различныхъ язычковыхъ инстру-

ментовъ можетъ быть измѣнена посредствомъ весьма различныхъ способовъ. Металлическіе язычки органа и гармоніона предназначены для воспроизведенія только одного отдѣльнаго тона. На движеніе этихъ относительно тяжелыхъ и значительно сопротивляющихся язычковъ, давленіе колеблющагося воздуха имѣетъ весьма незначительное вліяніе, такъ что высота ихъ тона въ предѣлахъ инструмента обыкновенно весьма мало отличается отъ той высоты, которую даетъ самъ по себѣ свободный язычекъ. Эти инструменты должны имѣть по крайней мѣрѣ по одному язычку для каждой ноты.

Въ деревянныхъ духовыхъ инструментахъ мы имѣемъ только одинъ язычекъ, который долженъ служить для всего ряда нотъ; но язычки этихъ инструментовъ составлены изъ легкаго упругаго дерева, и, вслѣдствіе мѣняющагося давленія колеблющейся массы воздуха, приводятся легко въ движеніе и участвуютъ въ колебаніяхъ воздуха. Поэтому названные инструменты могутъ давать кромѣ весьма высокихъ тоновъ, близко подходящихъ какъ это показываетъ теорія и практика, къ собственнымъ тонамъ ихъ язычковъ *), другіе болѣе низкіе тоны, коихъ высота опредѣляется тѣмъ, что волны образующіяся въ инструментѣ, въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится язычекъ, могутъ возбудить достаточно сильныя измѣненія въ давленіи воздуха для сообщенія ощутительнаго движенія язычку. Но наибольшая мѣна давленія въ колеблющемся воздушномъ столбѣ тамъ, гдѣ скорость воздушныхъ частицъ наименьшая и такъ какъ въ концѣ закрытой трубки, какъ это бываетъ въ закрытыхъ органныхъ трубкахъ, скорость постоянно равняется нулю, слѣдовательно наименьшая, а поэтому мѣна давленія наибольшая, то упомянутые тоны язычковыхъ трубокъ равняются тѣмъ, которые бы воспроизвела надставная трубка, если бы она была закрыта въ мѣстѣ нахожденія язычка и была вдуваема какъ закрытая трубка. Теперь въ музыкальномъ исполненіи совершенно не употребляются тѣ тоны этихъ инструментовъ, которые отвѣчаютъ собственному тону язычка, потому что они очень высоки и крикливы, равно какъ и потому, что ихъ высота тона не можетъ быть достаточно неизмѣнною, если язычекъ становится влаженъ; большею же частью воспроизводятся только такіе тоны, которые гораздо ниже тона язычка и коихъ высота зависитъ отъ длины воздушнаго столба и соотвѣтствуетъ собственнымъ тонамъ закрытой трубки.

Кларнетъ имѣетъ цилиндрическую трубку, коей собственные тоны отвѣчаютъ третьему, пятому, седьмому и т. д. частнымъ тонамъ

*) Смотри статьи Гельмгольца: Verhandlungen des naturhistorischen medicinischen Vereins zu Heidelberg vom 26 Iuli 1861 въ Heidelberger Jahrbüchern. Poggendorff's Annalen, 1861.

основнаго тона. Измѣняя силу, вдуванія можно перейти отъ основнаго тона къ дуодецимѣ или къ высшей терціи; кромѣ того акустическая длина трубки можетъ быть измѣнена, если открываютъ дырочки кларнета, такъ какъ главнымъ образомъ приводятъ въ колебанія только воздушный столбъ между мундштукомъ и верхнею открытою дырочкою.

Гобой и фаготъ имѣютъ коническія трубки. Коническія трубки закрытыя сверху имѣютъ собственные тоны, которые равны тонамъ открытыхъ, одинаковой длины трубокъ. Сообразно этому тоны обоихъ названныхъ инструментовъ соотвѣтствуютъ весьма близко тонамъ открытыхъ трубокъ. Посредствомъ усиленнаго вдуванія они даютъ октаву, дуодециму, вторую октаву и т. д основнаго тона. Промежуточные тоны получаются посредствомъ открыванія дырочекъ.

Старинные роги и трубы состоятъ изъ длинной, конической, свернутой трубки безъ клапановъ; они могутъ давать только такіе тоны, которые отвѣчаютъ собственнымъ тонамъ трубки и которые въ этомъ случаѣ опять-таки равны натуральнымъ верхнимъ гармоническимъ тонамъ основнаго тона; но такъ какъ основной тонъ столь длинной трубки весьма низокъ, то въ среднихъ частяхъ скалы верхніе тоны довольно сближены между собою, въ особенности при весьма значительной длинѣ трубки рога *), гдѣ такимъ образомъ получается большая часть ступеней скалы. Труба могла издавать только натуральные тоны; въ рогѣ можно было до нѣкоторой степени возстановить недостающіе тоны и исправлять невѣрные посредствомъ съуженія нижняго отверстія кулакомъ, а въ тромбонѣ посредствомъ выдвиганія. Въ новѣйшее время, для пополненія недостающихъ тоновъ, трубы и роги снабдили клапанами, отчего однако до нѣкоторой степени страдаютъ сила тона и звонкость оттѣнка. Въ этихъ инструментахъ колебанія воздуха необыкновенно могущественны, и только твердыя, гладкія и непомятыя трубы могутъ имъ представлять полное сопротивленіе, при которомъ они не теряютъ свою силу. При употребленіи духовыхъ инструментовъ различная форма и степень напряженія губъ музыканта принимается во вниманіе только въ томъ отношеніи, что этимъ опредѣляется собственный тонъ трубы, который долженъ звучать; высота же отдѣльныхъ тоновъ отъ напряженія губъ почти что независима.

Напротивъ, въ человѣческой гортани напряженіе голосовыхъ связокъ, составляющихъ здѣсь перепончатые язычки, измѣняется само и

*) Трубка охотничьяго рога имѣетъ по Цамминеру 27 фут. длины; ея настоящій основной тонъ Es_{-1}; этотъ тонъ и ближайшій къ нему *Es* въ игрѣ не употребляются, а употребляются только дальнѣйшіе тоны: *B*, *es*, *g*, *b*, *des'*—, *es'*, *f'*, *g'*, *as'*—*a'*, *b'* и т. д.

опредѣляетъ высоту тона. Воздушныя полости, соединенныя съ гортанью, неспособны къ значительному измѣненію тона голосовыхъ связокъ; онѣ имѣютъ именно слишкомъ мягкія стѣнки для того, чтобы въ нихъ могли образоваться достаточно сильныя воздушныя колебанія, которыя бы могли сообщить періодъ колебанія, не согласующійся съ періодомъ требуемымъ собственною упругостью голосовыхъ связокъ. Полость рта составляетъ также родъ слишкомъ короткой и большею частью слишкомъ много раскрытой надставной трубки для того, чтобы ея воздушная масса могла имѣть существенное вліяніе па высоту тона.

Кромѣ измѣняющагося напряженія голосовыхъ связокъ, которое не только можетъ быть увеличиваемо чрезъ отдаленіе другъ отъ друга ихъ точекъ прикрѣпленія къ хрящамъ гортани, но кромѣ того чрезъ произвольное напряженіе заключающихся въ нихъ мышечныхъ волоконъ можетъ измѣняться кажется также и толщина голосовыхъ связокъ. Подъ собственно упругими рядами волоконъ и мышечными волокнами голосовыхъ связокъ находится еще очень мягкая, пропитанная жидкостью неупругая ткань, которая, по всей вѣроятности играетъ при грудномъ голосѣ роль груза упругихъ связокъ и замедляетъ ихъ колебанія. Пѣніе фистулой вѣроятно происходитъ отъ того, что лежащая подъ связками масса слизистой оболочки отклоняется въ сторону, такъ что край связокъ дѣлается такимъ образомъ острѣе, а тяжесть ихъ колеблющейся части уменьшается въ то время, какъ упругость ихъ остается тою же.

Теперь мы достигаемъ занимающаго насъ предмета, т. е. объясненія оттѣнка звука язычковыхъ трубокъ. Въ этихъ трубкахъ звукъ возбуждается посредствомъ прерывныхъ толчковъ воздуха, прорывающихся при каждомъ колебаніи язычка чрезъ закрываемое имъ отверстіе. Свободно колеблющійся язычекъ имѣетъ слишкомъ малую поверхность для того, чтобы имѣть возможность сообщить воздуху достаточное количество Звуковаго движенія; тоже самое происходитъ и въ трубкахъ. Звукъ скорѣе воспроизводится только посредствомъ толчковъ воздуха, точно также какъ въ сиренѣ, коей металлическій кружекъ не совершаетъ никакихъ Звуковыхъ колебаній. Вслѣдствіе попеременнаго открыванія и закрыванія канала, непрерывное теченіе воздушной струи превращается въ періодически повторяющееся движеніе, которое въ состояніи воспринимать ухо. Это движеніе, какъ и каждое періодическое движеніе воздуха, можетъ быть разложено на рядъ простыхъ колебаній. Уже ранѣе было замѣчено, что число членовъ такого ряда тѣмъ болѣе, чѣмъ прерывнѣе движеніе, которое слѣдуетъ разложить. Это-то въ высокой степени и происходитъ въ движеніи воздуха протекающаго въ сиренѣ, или около язычка, потому что отдѣльные толчки воздуха должны быть большею частью отдѣлены другъ отъ друга полными паузами въ то время, когда отверстіе закрыто. Свободные, не находящіеся въ соединеніи съ трубками, язычки, при коихъ всѣ отдѣльные простые тоны возбуждаемаго ими движенія воздуха переходятъ непосредственно и свободно къ окружающей массѣ воздуха, имѣютъ поэтому всегда весьма рѣзкій, рѣжущій или скрипучій звукъ, и дѣйствительно слышатъ вооруженнымъ или невооруженнымъ ухомъ сильно и явственно длинный рядъ верхнихъ тоновъ до шестнадцатаго или двадцатаго и находятъ даже несомнѣнно еще болѣе высокіе верхніе тоны, хотя ихъ трудно или совершенно невозможно отдѣлить другъ отъ друга, такъ какъ они лежатъ другъ къ другу ближе, чѣмъ на полъ-ступени. Эта смѣсь диссонирующихъ тоновъ дѣлаетъ звуки свободныхъ язычковъ весьма непріятными. Такой родъ звука также доказываетъ, что толчки воздуха составляютъ также источникъ тона. Я наблюдалъ посредствомъ микроскопа вибрацій, по способу Лиссажу, колеблющійся язычекъ язычковой трубки (фиг. 30), въ то время, какъ она была вдуваема для того, чтобы получить форму колебаній язычка, и нашелъ, что язычекъ производитъ совершенно правильныя простыя колебанія. Поэтому онъ бы и могъ передать воздуху только одинъ простой тонъ, а не сложный звукъ, если бы возбужденный звукъ происходилъ дѣйствительно непосредственно отъ его колебаній.

Впрочемъ сила верхнихъ тоновъ, даваемыхъ свободнымъ язычкомъ отдѣльно и ихъ отношеніе къ основному тону много зависитъ отъ свойствъ язычка, его положенія относительно рамки, отъ плотности, съ которою онъ замыкаетъ отверстіе и т. д. Ударяющіе язычки, - которые даютъ наиболѣе прерывные толчки воздуха даютъ также самый рѣзкій звукъ. Чѣмъ короче толчки воздуха, чѣмъ они являются внезапнѣе, тѣмъ верхніе тоны могутъ быть выше, совершенно также, какъ это происходитъ по изслѣдованіямъ Зеебека въ сиренѣ. Твердый, не гибкій матерьялъ, каковъ онъ въ латунныхъ язычкахъ, передастъ болѣе явственно толчки воздуха, чѣмъ мягкій и гибкій. По всей вѣроятности въ этомъ намъ слѣдуетъ главнѣйшимъ образомъ искать причину, почему между всѣми звуками язычковыхъ трубокъ отличаются мягкостью, при хорошо сформированной гортани, тоны человѣческаго голоса. Между тѣмъ и въ человѣческомъ голосѣ, въ особенности если онъ употребляется въ сильномъ forte, число высокихъ верхнихъ тоновъ, которые доходятъ еще весьма сильно и ясно до четырехчертной октавы, весьма велико; къ этому мы сейчасъ возвратимся снова.

Звукъ язычковъ существенно мѣняется отъ надставныхъ трубокъ, при чемъ именно значительно усиливаются тѣ верхніе тоны, которые

соотвѣтствуютъ собственнымъ тонамъ надставной трубки, подобно тому, какъ это происходитъ съ тонами шума воздуха въ органныхъ трубкахъ. При этомъ надставныя трубки должны быть разсматриваемы, какъ закрытыя въ мѣстѣ, гдѣ находится язычекъ *).

Я употреблялъ какъ надставную трубку латуннаго язычка, однороднаго съ органнымъ и который давалъ *b*, одинъ изъ моихъ самыхъ большихъ шаровъ-резонаторовъ, который былъ также строя *b*. Послѣ того, какъ давленіе въ мѣхахъ было значительно усилено, язычекъ сталъ звучать немного ниже чѣмъ прежде, но я получилъ звукъ необыкновенно полный, сильный, хорошій и мягкій, въ которомъ недоставало почти всѣхъ верхнихъ тоновъ. При этомъ я употреблялъ немного воздуха, но за то при сильномъ давленіи. Здѣсь только основной тонъ язычка былъ въ однозвучіи съ сильно усиливающимъ тоны стекляннымъ шаромъ, вслѣдствіе чего онъ и получалъ значительную силу. Изъ высшихъ тоновъ ни одинъ не могъ быть усиленъ. Далѣе, теорія колебаній воздуха въ шарѣ показываетъ, что высшее давленіе должно было въ немъ постоянно проявляться въ то время, когда язычекъ открывался. Поэтому давленіе воздуха въ мѣхахъ должно превосходить наибольшее давленіе въ шарѣ; не смотря на это, количество выпускаемаго воздуха было незначительно.

Если вмѣсто стекляннаго шара употреблять другія надставныя трубки, имѣющія большее число собственныхъ тоновъ, то получаютъ также болѣе сложные звуки. Кларнетъ имѣетъ цилиндрическую трубку, которая усиливаетъ своимъ резонансомъ нечетные верхніе тоны звука. Напротивъ, коническія трубки гобоя, фагота, трубъ и роговъ усиливаютъ до извѣстной высоты всѣ верхніе гармоническіе тоны звука. Трубки не даютъ болѣе резонанса для волнъ тоновъ, коихъ длина не превосходитъ значительно разстоянія между отверстіями. Такимъ образомъ въ звукѣ кларнетовъ я находилъ только нечетные верхніе тоны, которые были явственны до седьмаго, тогда какъ звуки остальныхъ упомянутыхъ инструментовъ съ коническими трубками содержатъ и четные тоны. Однако я до сихъ поръ не имѣлъ возможности производить наблюденія надъ дальнѣйшимъ различіемъ звука отдѣльныхъ инструментовъ съ коническими трубками. Это довольно затруднительно для изслѣдованія, потому что оттѣнокъ измѣняется весьма разнообразно отъ способа вдуванія и потому что различныя части скалы одного и того же инструмента имѣютъ довольно различные оттѣнки звука, если требуютъ открыванія дырочекъ. Эти различія особенно поразительны въ деревянныхъ духовыхъ инструментахъ. Открываніе дырочекъ не вполнѣ замѣняетъ укороченіе трубки,

*) Смотри Приложеніе VI.

и отраженіе звуковыхъ волнъ происходитъ тамъ не такъ, какъ въ свободномъ открытомъ концѣ трубки. Верхніе тоны трубки, ограниченной открытою дырочкою, должны будутъ большею частью уклоняться отъ гармонической чистоты, что будетъ имѣть замѣтное вліяніе на ихъ резонансъ.

7. Звуки гласныхъ.

Мы занимались до сихъ поръ только тѣми случаями резонанса надставной трубки, гдѣ онъ былъ въ состояніи прежде всего усилить основной тонъ звука и кромѣ того еще извѣстное число верхнихъ гармоническихъ тоновъ. Кромѣ этого можетъ случиться и то, что низшій тонъ трубки будетъ отвѣчать не основному тону, а одному изъ верхнихъ тоновъ звука; въ такомъ случаѣ, сообразно выведеннымъ до сихъ поръ основнымъ положеніямъ, мы находимъ, что поражаемый верхній тонъ дѣйствительно болѣе усиленъ резонансомъ надставной трубки, чѣмъ основной тонъ и остальные верхніе тоны; поэтому-то онъ и выдѣляется особенно сильно изъ ряда остальныхъ верхнихъ тоновъ. Отъ этого звукъ получаетъ особенный характеръ; онъ становится именно болѣе или менѣе схожимъ съ одною изъ гласныхъ человѣческаго голоса; дѣйствительно эти послѣднія суть тоны перепончатыхъ язычковъ, именно голосовыхъ связокъ, коихъ надставная трубка, именно полость рта, можетъ принимать различныя расширенія, удлинненія и настройку, отчего и усиливается тотъ или другой частный тонъ звука *).

Чтобы понять составленіе звуковъ гласныхъ, надо сначала принять во вниманіе, что происхожденіе ихъ звука лежитъ въ голосовыхъ связкахъ, которыя дѣйствуютъ какъ перепончатые язычки при звучащемъ громко голосѣ и воспроизводятъ, какъ и всѣ язычки, рядъ прерывающихся и рѣзко отдѣленныхъ другъ отъ друга воздушныхъ толчковъ, которые, будучи разсматриваемы какъ сумма простыхъ колебаній, отвѣчаютъ большому числу таковыхъ колебаній и вслѣдствіе этого являются въ ухѣ какъ звукъ, составленный изъ довольно длиннаго ряда верхнихъ тоновъ. Помощью трубокъ-резонаторовъ можно распознать въ болѣе явственныхъ гласныхъ при низкихъ сильно спѣтыхъ басовыхъ нотахъ весьма высокіе верхніе тоны, доходящіе даже до шестнадцатаго; при нѣсколько же болѣе напряжен-

*) Теорія гласныхъ была впервые положена Уитстономъ (Wheatstone) въ сдѣлавшейся къ сожалѣнію весьма мало извѣстной критикѣ, касающейся опытовъ Уиллиса (Willis). Эти опыты описаны въ Transact. of Cambridge Phil. Soc. T. III, p. 231. Poggend. Annalen der Physik. Bd. XXIV, S. 397.— Статья Уитстона находится въ London and Westminster Review 1837, October.

номъ forte высшихъ нотъ любаго человѣческаго голоса, высокіе верхніе тоны средины четырехчертной октавы (самой верхней новѣйшаго фортепіано) проявляются явственнѣе, чѣмъ во всѣхъ другихъ инструментахъ; объ особенномъ отношеніи этой октавы къ уху мы поговоримъ еще впослѣдствіи. Сила верхнихъ тоновъ, а именно самыхъ высокихъ, подвержена впрочемъ довольно большимъ индивидуальнымъ различіямъ. Она больше при рѣзкихъ и явственныхъ голосахъ, чѣмъ при мягкихъ и заглушенныхъ. Въ рѣзкихъ голосахъ слѣдуетъ, быть можетъ, искать происхожденіе ихъ оттѣнка звука въ томъ, что края голосовыхъ связокъ недостаточно гладки или прямы для того, чтобы безъ столкновенія другъ съ другомъ имѣть возможность сложиться въ узкую прямолинейную щель, вслѣдствіе чего гортань приближается болѣе къ инструментамъ съ ударяющими язычками, имѣющими гораздо болѣе рѣзкій оттѣнокъ, тогда какъ нормальныя голосовыя связки суть язычки проходящіе. Происхожденіе оттѣнка звука въ хриплыхъ голосахъ, быть можетъ, слѣдуетъ искать въ томъ, что во время колебанія связокъ голосовая щель не вполнѣ замыкается. По крайней мѣрѣ, подобныя же видоизмѣненія звука получаютъ въ искусственно изготовленныхъ перепончатыхъ язычкахъ, когда дѣлаютъ соотвѣтствующія измѣненія въ ихъ положеніи. Для сильнаго, но все-таки нѣжнаго голоса необходимо, чтобы голосовыя связки устанавливались бы между собою совершенно близко по прямой линіи такъ, чтобы моментально вполнѣ закрывали голосовую щель, взаимно не ударяясь въ тѣ мгновенія, когда онѣ сближаются другъ съ другомъ при самыхъ сильныхъ колебаніяхъ. Если онѣ ее не вполнѣ закрываютъ, то теченіе воздуха не будетъ вполнѣ прервано и тонъ не можетъ быть сильнымъ. Если онѣ будутъ ударять другъ друга, то звукъ, какъ уже было замѣчено, долженъ сдѣлаться рѣзкимъ, какъ при ударяющихъ язычкахъ. Если наблюдать голосовыя связки посредствомъ ларингоскопа въ то время какъ онѣ издаютъ звукъ, то насъ поражаетъ точность, съ которою онѣ закрываются при колебаніяхъ, размахъ которыхъ почти равняется всей ширинѣ связокъ.

Однако между воспроизведеніемъ рѣчи и пѣніемъ существуетъ нѣкоторое различіе, вслѣдствіе котораго мы воспроизводимъ гораздо болѣе рѣзкій звукъ при разговорѣ, въ особенности же при открытыхъ гласныхъ, и ощущаемъ болѣе сильное давленіе въ гортани. Я полагаю, что при разговорѣ голосовыя связки дѣйствуютъ какъ ударяющіе язычки.

Если слизистая оболочка гортани поражена каттаромъ, то иногда видятъ посредствомъ ларингоскопа входящими въ гортань частицы слизи. Если онѣ довольно велики, то нарушаютъ движеніе колеблющихся связокъ и дѣлаютъ его неправильнымъ, при чемъ звукъ становится также неправильнымъ, дребезжащимъ или же хриплымъ. Однако замѣчательно, что въ голосовой щели могутъ лежать относительно большія частицы слизи безъ замѣтнаго вліянія на ухудшеніе звука.

Уже было замѣчено, что верхніе тоны человѣческаго голоса распознаются большею частью гораздо труднѣе невооруженнымъ ухомъ, чѣмъ верхніе тоны другихъ инструментовъ; для этого изслѣдованія резонаторы необходимы болѣе, чѣмъ для анализа всякаго другаго звука. Однако внимательные наблюдатели могли иногда разслушать упомянутые верхніе тоны; они уже были извѣстны въ началѣ прошлаго столѣтія Рамо (Rameau), а позднѣе Зейлеръ (Seiler) упоминаетъ о томъ, что когда онъ прислушивался въ безсонныя ночи къ пѣнію ночнаго сторожа, то онъ иногда сначала слышалъ вдали дуодециму, а потомъ уже и основной тонъ. Причину этого затрудненія надо конечно искать въ томъ, что въ продолженіи всей нашей жизни мы внимательно слѣдили и наблюдали звуки человѣческаго голоса болѣе, чѣмъ всякіе другіе, но постоянно съ цѣлью ихъ воспринимать какъ цѣлое и точно изучать различныя видоизмѣненія ихъ оттѣнка.

Мы вправѣ допустить, что верхніе тоны въ звукахъ человѣческой гортани, если бы мы ихъ могли наблюдать безъ резонанса полости рта, непрерывно уменьшаются въ силѣ съ возрастаніемъ высоты, какъ и въ звукахъ другихъ язычковыхъ инструментовъ. Въ дѣйствительности это предположеніе хорошо подходитъ къ тѣмъ гласнымъ, которыя говорятся съ значительно воронкообразно раскрытою полостью рта, а именно при рѣзкомъ *А* или *Ä*. Но это отношеніе существенно мѣняется отъ резонанса полости рта. Чѣмъ полость рта болѣе съужена посредствомъ губъ, или языка, тѣмъ ея резонансъ проявляется рѣшительнѣе для тоновъ совершенно опредѣленной высоты и тѣмъ болѣе она тогда усиливаетъ въ звукѣ голосовыхъ связокъ тѣ верхніе тоны, которые приближаются къ подходящимъ степенямъ высоты тона; напротивъ остальные верхніе тоны будутъ тѣмъ болѣе заглушены. Поэтому, при изслѣдованіи звука человѣческаго голоса посредствомъ резонаторовъ, находятъ довольно правильно и явственно воспринимаемыми первые шесть или восемь верхнихъ тоновъ, но въ весьма разнообразной силѣ, смотря по различнымъ положеніямъ полости рта, такъ что они, то сильно поражаютъ ухо, то едва слышимы.

Вслѣдствіе этихъ обстоятельствъ, изслѣдованіе резонанса въ полости рта имѣетъ большое значеніе. Вѣрнѣйшее и легчайшее средство находить тѣ тоны, въ которыхъ настроена воздушная масса полости

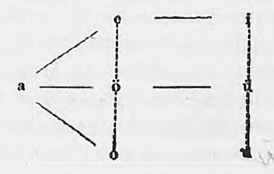
*

рта при принимаемыхъ ею различныхъ положеніяхъ для воспроизведенія различныхъ гласныхъ, такое же, которое употребляютъ для стеклянныхъ бутылокъ и другихъ воздушныхъ средъ; а именно берутъ различной высоты ударенные камертоны и подносятъ ихъ къ отверстію воздушной среды, въ нашемъ случаѣ къ открытому рту, при чемъ тонъ камертона слышатъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ онъ точнѣе соотвѣтствуетъ одному изъ собственныхъ тоновъ заключенной въ полости рта массы воздуха. Такъ какъ положеніе полости рта можно измѣнять по произволу, то она можетъ всегда припаровиться къ тону любаго камертона, и слѣдовательно этимъ способомъ легко опредѣляютъ какое надо дать ей положеніе для того, чтобы заключающаяся въ ней масса воздуха имѣла бы опредѣленную высоту тона.

Я имѣлъ въ своемъ распоряженіи рядъ камертоновъ, посредствомъ которыхъ, при такомъ изслѣдованіи, я нашелъ слѣдующіе результаты:

Высоты тоновъ сильнѣйшаго резонанса полости рта зависятъ только отъ гласной, для составленія которой части рта приняли опредѣленное положеніе; эти высоты уже довольно значительно измѣняются при малыхъ измѣненіяхъ въ оттѣнкѣ звука гласной, какъ это напримѣръ встрѣчается въ различныхъ нарѣчіяхъ одного и того же языка. Напротивъ собственные тоны полости рта почти независимы отъ возраста и отъ пола. Я вообще находилъ тѣже резонансы у мужчинъ, женщинъ и дѣтей. Чего недостаетъ въ размѣрахъ полостей рта женщинъ и дѣтей, то можетъ быть вознаграждено большимъ съуживаніемъ ротовой щели, такъ что резонансъ можетъ сдѣлаться также низокъ, какъ въ наибольшей мужской полости рта.

По способу расположенія частей рта, гласныя раздѣляются на три ряда, которыя мы можемъ написать согласно съ дю-Буа-Реймономъ *) (du Bois Reymond) старшимъ въ слѣдующемъ порядкѣ:



Гласная A составляетъ общую исходную точку для всѣхъ трехъ рядовъ. Ей соотвѣтствуетъ воронкообразный видъ полости рта, рас-

*) Norddeutsche Zeitshrift редактированный Ламоттомъ-Фуке (La Motte Fouqué) 1812. Cadmus ou Alphabétique générale de du Bois-Reymond Berlin, 1862, p. 152.

ширяющійся довольно равномѣрно отъ гортани. При гласныхъ нижняго ряда O и U, полость рта съуживается посредствомъ губъ; она наиболѣе съужена при U кпереди, тогда какъ посредствомъ пониженія языка она по возможности расширяется, и слѣдовательно, говоря вообще, принимаетъ видъ бутылки безъ горлышка, отверстіе которой ротъ довольно узкое, но вмѣстимость которой распространяется равномѣрно и безъ перерывовъ по всѣмъ направленіямъ. Высота тона такихъ бутылковидныхъ вмѣстимостей тѣмъ ниже, чѣмъ полость вмѣстимости больше и чѣмъ ея отверстіе уже. Только одинъ собственный тонъ съ сильнымъ резонансомъ распознается обыкновенно явственно; если существуютъ другіе собственные тоны, то они относительно весьма высоки и имѣютъ только слабый резонансъ. Совершенно соотвѣтственно тѣмъ опытамъ, которые можно дѣлать надъ стеклянными бутылками, находятъ, что при U гдѣ полость рта наиболѣе расширена, а ротовая щель наиболѣе съужена, резонансъ самый низкій, а именно соотвѣтствуетъ безчертному f. Если перейдти отъ U къ O, то резонансъ постепенно повышается, такъ что при полнозвучномъ чистомъ O, полость рта будетъ настроена въ b'. Положеніе рта при O особенно благопріятно для резонанса, отверстіе рта не слишкомъ велико и не слишкомъ мало, а полость рта достаточно объемиста. Поэтому, если, ударивъ камертонъ настроенный въ b', поднести къ ротовой щели въ то время, когда говорятъ тихо O, или только ставя ротъ въ такое положеніе какъ будто бы хотятъ сказать O, то слышатъ тонъ камертона отзывающимся весьма полнозвучно и громко, такъ что его можетъ слышать цѣлая аудиторія. Можно также воспользоваться для той же цѣли камертонами a', обыкновенно употребляемыми музыкантами, только тогда слѣдуетъ для полученія резонанса выговаривать O нѣсколько заглушеннѣе.

Переводя постепенно полость рта изъ положенія O черезъ $\overset{a}{O}$ и $\overset{o}{A}$ въ положеніе A мы сообразно этому повысимъ постепенно на одну октаву до b'' и резонансъ. Этотъ тонъ отвѣчаетъ сѣверо-германскому A; нѣсколько болѣе рѣзкое A англичанъ и итальянцевъ повышается до высоты тона d'''; слѣдовательно еще терцію выше. Впрочемъ въ A особенно поразительно то, какъ вліяютъ малыя различія въ высотѣ тона на значительныя видоизмѣненія въ звукѣ гласной; поэтому я бы предложилъ г. г. занимающимся языками, желающимъ опредѣлить гласныя различныхъ языковъ, опредѣлить высоту тона сильнѣйшаго резонанса для полости рта.

Въ до сихъ поръ названныхъ гласныхъ, я не могъ найти втораго собственнаго тона, да и по аналогіи явленій, которыя представляютъ подобныя искусственно изготовленныя воздушныя полости, едва

ли можно ожидать, что таковой существуетъ при замѣтной силѣ. Опыты, которые будутъ описаны впослѣдствіи, покажутъ что резонансъ одного этого тона дѣйствительно достаточенъ для того, чтобы охарактеризовать названныя гласныя.

Второй рядъ гласныхъ, которымъ мы теперь займемся, заключаетъ такую послѣдовательность: *A*, *Ä*, *E*, *I*. Губы такъ отодвигаются въ стороны, что болѣе не съуживаютъ струю воздуха; напротивъ между переднею частью языка и твердымъ нёбомъ образуется новое съуженіе, тогда какъ часть полости, находящаяся непосредственно надъ гортанью, расширяется отъ того, что корень языка сокращается въ то время, какъ гортань приподнимается. При этомъ форма полости рта приближается къ формѣ бутылки съ узкимъ горлышкомъ. Въ этомъ случаѣ тѣло бутылки лежитъ за глоткою; горлышко есть узкій каналъ между верхнею поверхностью языка и твердымъ нёбомъ. Въ данной послѣдовательности ряда буквъ *Ä*, *E*, *I*, эти измѣненія болѣе и болѣе усиливаются, такъ что при *I* вмѣстимость полости бутылки наибольшая, а горлышко наиболѣе узкое. Напротивъ весь каналъ еще довольно длиненъ при *Ä*, такъ что, пользуясь ларингоскопомъ, можно видѣть внутренность гортани. Гласная эта даетъ даже, для примѣненія этого инструмента, самое лучшее положеніе рта, такъ какъ корень языка, мѣшающій еще при буквѣ *A* обозрѣванію гортани, сокращенъ и не мѣшаетъ наблюденію.

Если примѣнять бутылку съ узкимъ горлышкомъ въ качествѣ усиливающей полости, то легко находятъ два тона, изъ которыхъ одинъ можетъ быть разсматриваемъ какъ собственный тонъ тѣла бутылки, а другой какъ таковой же горлышка бутылки. Конечно воздухъ тѣла бутылки не можетъ колебаться совершенно независимо отъ воздуха въ горлышкѣ и поэтому соотвѣтствующіе собственные тоны обѣихъ частей должны выйти нѣсколько иначе, а именно ниже, чѣмъ если бы тѣло бутылки и горлышко были отдѣлены другъ отъ друга и были бы испытуемы въ отдѣльности по ихъ резонансу. Горлышко составляетъ приблизительно короткую съ обѣихъ концовъ открытую трубку. Правда что его внутренній конецъ не сообщается непосредственно съ внѣшнею средою воздуха, а только съ внутреннею полостью бутылки; но если только горлышко довольно узко, а тѣло бутылки довольно объемисто, то послѣднее въ отношеніи колебаній воздуха горлышка можетъ быть разсматриваемо какъ свободная воздушная среда. Это условіе встрѣчается болѣе всего при *I*; длина канала между языкомъ и нёбомъ, считая отъ верхнихъ зубовъ до задняго края костянаго нёба, заключаетъ приблизительно 6 сантиметровъ. Открытая трубка такой же длины, будучи вдуваема, дала бы тонъ e'''', тогда какъ наблюденіе для усиленнаго тона *I* даетъ приблизительно d'''', что согласуется, насколько это возможно, при наблюденіи столь неправильно составленной трубки, какъ заключающейся между языкомъ и нёбомъ.

Сообразно этому *Ä*, *E*, и *I* имѣютъ болѣе высокій и болѣе низкій тонъ резонанса. Болѣе высокіе тоны составляютъ продолженіе восходящаго ряда собственныхъ тоновъ гласныхъ *U*, *O*, *A*. Помощью камертоновъ я нашелъ для *Ä* тоны отъ g''' до as''', для *E* тонъ b'''. Для *I* я не имѣлъ подходящаго камертона; но въ этомъ случаѣ можно прибѣгнуть къ помощи шума воздуха, который я опишу вскорѣ и который даетъ довольно опредѣленно d''''.

Нижайшіе собственные тоны, которые принадлежатъ задней части полости рта, опредѣляются съ большимъ трудомъ. Для этого можно пользоваться камертонами; однако резонансъ относительно слабъ, потому что онъ долженъ быть произведенъ чрезъ длинное узкое горло воздушной полости. Однако надо замѣтить, что этотъ резонансъ наступаетъ только тогда, когда издаютъ соотвѣтствующую гласную тихо, шепотомъ, и исчезаетъ когда замолчатъ, потому что въ послѣднемъ случаѣ видъ полости рта, отъ которой зависитъ этотъ резонансъ тотчасъ же измѣняется. Ударенный камертонъ надо также подносить по возможности близко къ отверстію воздушной полости, лежащей позади верхнихъ зубовъ. Такимъ образомъ я нашелъ для *Ä* – d''', а для *E* — f'. Для *I* я немогъ наблюдать резонанса камертономъ, однако изъ наблюденія надъ верхними тонами я заключаю, что онъ приблизительно также низокъ какъ и для *U*, т. е. *f*. Слѣдовательно, если переходятъ отъ *A* къ *I*, то нижніе собственные тоны полости рта нисходятъ, тогда какъ верхніе восходятъ.

При третьемъ рядѣ гласныхъ, который переходитъ отъ *A* черезъ *Ö* къ *Ü*, мы имѣемъ внутри рта тоже положеніе языка, какъ и для предъидущаго ряда. Именно для *Ü* приблизительно такое же, какъ для гласной, лежащей между *E* и *I*; напротивъ для *Ö* тоже что для *E*, которое именно приближается къ *Ä*. Но кромѣ существующаго здѣсь какъ и во второмъ рядѣ съуженія между языкомъ и нёбомъ, съуживаются также и губы, такъ что складываются, насколько это возможно, въ трубку и продолжаютъ такимъ образомъ переднюю часть трубки, лежащую между языкомъ и нёбомъ. Слѣдовательно воздушный объемъ полости рта сформированъ и при этихъ гласныхъ подобно бутылкѣ съ горлышкомъ, которое однако длиннѣе, чѣмъ при гласныхъ втораго ряда. Для *I* я нашелъ это горлышко длиною въ 6 сантиметровъ. Для *Ü* длина его отъ передняго края верхней губы до начала мягкаго нёба имѣетъ 8 сантиметровъ. Отъ этого высота высшаго собственнаго тона, соотвѣтствующаго резонансу горлышка, должна быть приблизительно квартою ниже,

чѣмъ при *I*. Если бы оба его конца были свободны, то по вычисленію эта трубка должна была бы дать *h'''*; въ дѣйствительности же она приводится въ звучаніе посредствомъ камертона, коего тонъ лежитъ между *g'''* и *as'''*, подобно тому отступленію, которое мы нашли для *I*, которое какъ въ этомъ, такъ и въ томъ случаѣ объясняется тѣмъ, что задній конецъ этой трубки сообщается хотя и съ расширенною, однако же не съ совершенно свободною воздушною средою. Резонансъ внутренней среды слѣдуетъ наблюдать по тѣмъ же правиламъ, какъ при гласныхъ ряда *I*. Для *Ö* получается тотъ же, что для *E*, именно *f'*; для *Ü* одинаковый съ *I*, именно *f*.

Фактъ, что полость рта настроена при различныхъ гласныхъ въ различныя высоты тоновъ, былъ впервые найденъ Дондерсомъ (Donders) *), и при этомъ не помощью камертоновъ, а посредствомъ шума, который образуетъ струя воздуха въ полости рта при шептаніи. При этомъ полость рта вдувается точно также, какъ органная трубка и усиливаетъ посредствомъ своего резонанса соотвѣтствующія тоны шума воздуха, который производится частью въ съуженной гортани **), частью же въ переднихъ съуженныхъ мѣстахъ рта. При этомъ однако не всегда доходятъ до полнаго тона; шумъ воздуха можетъ быть до него доведенъ только при *Ü* и *U*, когда начинаютъ свистать; но въ разговорѣ это было бы ошибкою. Чаще всего наступаетъ только тотъ родъ усиленія шума воздуха, который происходитъ въ органной трубкѣ, начинающей неудовлетворительно звучать вслѣдствіе неправильнаго положенія губы или недостаточной силы вѣтра.

Однако такой шумъ, если онъ и не доходитъ до полнаго музыкальнаго тона, то уже обнаруживаетъ довольно опредѣленную высоту, которая можетъ быть опредѣлена привычнымъ ухомъ. Только, какъ это бываетъ во всѣхъ такихъ случаяхъ, гдѣ слѣдуетъ сравнивать тоны различныхъ оттѣнковъ, легко сбиваются на октаву. Но если нѣкоторыя изъ высотъ тоновъ, до которыхъ это относится, опредѣлили помощью резонанса камертоновъ, другія, каковы *Ü* и *Ö* тѣмъ, что обратили ихъ въ правильное свистаніе, то остальныя легко опредѣлить, соединяя ихъ съ первыми въ мелодической послѣдовательности. Такимъ образомъ рядъ:

рѣзкаго *A*. . . *Ä*, *E*, *I*
даетъ *d'''*, *g'''*, *b'''*, *d''''*,

т. е. восходящій квартсекстаккордъ трезвучія *g*-moll и можетъ быть легко сравненъ съ соотвѣтствующею послѣдовательностью тоновъ на фортепіано. Посредствомъ камертоновъ я могъ еще опредѣлить положеніе *A*, *Ä* и *E*, откуда опредѣлилъ и положеніе *I* *).

Для *U* также не совсѣмъ легко найти высоту резонанса посредствомъ камертона; вслѣдствіе малаго отверстія рта резонансъ довольно слабъ. Здѣсь меня руководило другое явленіе. Если пѣть скалу начиная отъ *c* на гласную *U* восходя, то достигнувши *f*, предполагая, что стараются выдержать натуральное, заглушенное *U*, не давая ему перейти въ *O*, почувствуютъ, что сотрясеніе воздуха во рту и въ барабанныхъ перепонкахъ, въ которыхъ оно возбуждаетъ щекотаніе становится наиболѣе сильнымъ. Какъ только переходятъ *f*, оттѣнокъ измѣняется; сильное сотрясеніе во рту и щекотаніе въ ушахъ исчезаютъ. Въ этомъ случаѣ при нотѣ *f* происходитъ совершенно тоже явленіе какъ въ томъ случаѣ, когда соединяютъ язычекъ съ шаровидною надставною полостью, коей собственный тонъ соотвѣтствуетъ приблизительно тону язычка. Чрезвычайно сильное сотрясеніе воздуха внутри шара и внезапный перерывъ въ оттѣнкѣ получаютъ и въ томъ случаѣ, когда переходятъ отъ болѣе низкаго тона массы воздуха, черезъ язычковый, тонъ къ болѣе высокому. Вслѣдствіе этого резонансъ полости рта для *U* опредѣляется высотою

*) Archiv für die Holländischen Beiträge für Natur-und Heilkunde von **Donders** und **Berlin**. Bd. 1, S. 157. Болѣе раннія, но неполныя воззрѣнія по этому предмету находятся у Рейхара (**Samuel Reyher**) Mathesis mosaica, Kiel 1619. Ch. **Hellwag** de formatione loquelae Diss. Tubingae 1780. — **Flörke**, Neue Berliner Monatsschrift, Sept. 1803. Febr. 1804. **Olivier**, Ortho-epo-graphisches Elementarwerck 1804, Thl. III. S. 21.

**) Это задняя часть голосовой щели между черпаловидными хрящами которая остается открытою при нашептываніи въ видѣ трехъугольнаго отверстія въ то время, какъ голосовыя связки прикладываются другъ къ другу

*) Выводы Дондерса разняться немного отъ моихъ, частью отъ того, что они относятся къ голландскому произношенію, тогда какъ мои къ сѣверо-германскому, частью же отъ того, что Дондерсъ, не пользовавшись камертонами, не могъ опредѣлить въ точности октаву, въ которую слѣдуетъ включить эти шумы. Слѣдующія таблица показываетъ эти уклоненія:

гласныя.	высоты тоновъ по Дондерсу.	высоты тоновъ по Гельмгольцу.
U	*f'*	*f*
O	*d'*	*b'*
A	*b'*	*b''*
Ö	*g*?	*cis'''*
Ü	*a''*	*g''' — as'''*
E	*cis'''*	*b'''*
I	*f'''*	*d''''*

f *) и несомнѣнно еще легче, чѣмъ посредствомъ камертоновъ. Поэтому мы можемъ выразить резонансъ полости рта для различныхъ гласныхъ нотами, какъ слѣдуетъ ниже:

Вліяніе настройки полости рта на оттѣнокъ звука голоса совершенно такое же, съ какимъ мы ознакомились при искусственно изготовленныхъ язычковыхъ трубкахъ. Именно усиливаются всѣ тѣ верхніе тоны, которые совпадаютъ съ однимъ изъ собственныхъ тоновъ полости рта, или же прилегаютъ къ нему довольно близко; остальные же верхніе тоны болѣе или менѣе заглушаются. Заглушеніе неусиленныхъ тоновъ тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ болѣе сомкнута полость рта или между губами, какъ это при *U*, или между языкомъ и нёбомъ, какъ это при *I* и *U*.

Эти различія верхнихъ тоновъ различныхъ гласныхъ узнаются весьма легко и явственно посредствомъ резонаторовъ, по крайней мѣрѣ пока дѣло идетъ о тонахъ одночертной и двучертной октавъ. Напр.: пусть приставятъ къ уху резонаторъ настроенный въ *b'* и заставятъ, опытнаго въ вѣрномъ выдерживаніи высоты тона и въ правильномъ произношеніи гласныхъ баса, ихъ пѣть съ равномѣрною силою по порядку на одномъ изъ нижнихъ гармоническихъ тоновъ *b'*, будь это *b* или *es*, или *B*, *Ges*, *Es*. Тогда найдутъ, что при чистомъ, полнозвучномъ *O*, *b'* резонатора поразитъ ухо могущественно. Тотъ же верхній тонъ еще очень силенъ при рѣзкомъ *Ä* или промежуточномъ тонѣ между *Ä* и *Ö*, при *A*, *E* и *Ö* слабѣе, при *U* и *I* наиболѣе слабъ. Легко также находятъ, что резонансъ *O* замѣтно слабѣетъ, когда ее воспроизводятъ болѣе заглушенно, приближаясь къ *U*, или же когда ее воспроизводятъ болѣе открыто, такъ что она обращается въ *Å*. Если, напротивъ, взять резонаторъ октавою выше, въ *b''*, то резонаторъ будетъ приведенъ самымъ сильнымъ образомъ въ совмѣстное звучаніе гласною *A*, тогда какъ сильно дѣйствующее при первомъ резонаторѣ *O* будетъ въ этомъ случаѣ дѣйствовать незначительно.

Для высокихъ верхнихъ тоновъ *Ä*, *E*, *I* невозможно изготовить

*) Однако, кажется, что здѣсь происходятъ сильныя отдѣльныя разницы, а легкія измѣненія въ выговорѣ могутъ доходить до высоты *f*(G. Engel).

резонаторовъ, которые бы могли дать чувствительное усиленіе этихъ тоновъ. Слѣдовательно, здѣсь опять таки приходится ограничиться наблюденіями невооруженнымъ ухомъ. Поэтому мнѣ стоило много труда открыть эти усиленные тоны *) въ звукѣ голоса и я ихъ еще не зналъ, когда составлялъ объ этомъ предметѣ мои прежнія сочиненія. Для ихъ наблюденія, лучше всего заставлять пѣть высокіе женскіе голоса, или же фистулой мужскіе. Въ данномъ протяженіи скалы верхніе тоны высокихъ нотъ не такъ близко лежатъ другъ къ другу, какъ верхніе тоны нотъ болѣе низкихъ, и поэтому первые отличаются другъ отъ друга легче. Напр. женскіе голоса могутъ еще удобно воспроизводить полнозвучно всѣ гласныя на *b'*, далѣе же вверхъ выборъ гласныхъ ограниченнѣе. Тогда слышатъ явственно выступающими: дуодециму *f'''* при широкомъ *Ä*, удвоенную октаву *b'''* при *E* и высшую терцію *d''''* при *I*, послѣднюю весьма часто чрезвычайно пронзительно.

Но при этихъ наблюденіяхъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что нѣкоторыя гласныя, въ извѣстныхъ частяхъ скалы, воспроизводятся гораздо лучше, чѣмъ другія. **) Насколько простираются мои собственныя, но мало распространенныя въ этомъ отношеніи, наблюденія, наилучшимъ образомъ воспроизводятся всегда тѣ гласныя, коихъ характерный тонъ лежитъ немного выше, поющейся ноты, т. е. тѣ, коихъ характерный тонъ второй или третій частный тонъ этой ноты. Я нахожу, что у мужчинъ *U*, коего характерный тонъ *f* воспроизводится наилучшимъ образомъ при *d*, *e* и *f*, а затѣмъ уже въ нижней октавѣ *F*. *E* съ характернымъ тономъ *f'* воспроизводится въ высокихъ нотахъ баса *d'*, *e'* и *f'*, затѣмъ въ нижнихъ гармоническихъ нотахъ *f'*, именно *f* и *B*. При предѣльномъ *b'* моего фистульнаго голоса, я могу только пѣть *O*, *Ä* или *Aö*, коихъ характерный тонъ *b'*. Вліяніе гласныхъ наиболѣе поразительно при трудно достижимыхъ, лежащихъ на предѣлахъ голоса, нотахъ. Ниже *c'* всѣ женскіе голоса имѣютъ влеченіе перейти въ неявственное *O* или *OU*, коихъ собственные тоны находятся въ этой части скалы. Въ ихъ высокихъ тонахъ, выше *e''* или *f''*, наилучшимъ образомъ воспроизводится *A*, коего характерный тонъ лежитъ около *b''*; выше *b''* наилучшимъ

*) Gelehrte Anzeigen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. 18 Juni 1859.

**) Эти столь важныя въ высшей степени различія для пѣнія изслѣдованы болѣе подробно Зейлеромъ (E. Seiler), Altes und Neues über die Ausbildung des Gesangorgans. Leipzig 1861, *S.* 52. — Энгелемъ (G. Engel) die Vocaltheorie, Berlin 1867. Тоже встрѣчается и у Рейхтера (Reichter) Archiv für Anatomie 1869. S. 309.

образомъ воспроизводится гласная *I*, коей собственный тонъ лежитъ октавою выше и которая громче, чѣмъ лежащая на той же высотѣ *Ä*.

Если при наблюденіи верхнихъ тоновъ выбираютъ для пѣнія ноту, на которой воспроизводятся особенно сильно извѣстныя гласныя, то и ея верхніе тоны слышатъ также соотвѣтственно слишкомъ сильно. Въ лежащихъ ниже мужскихъ голосахъ это имѣетъ менѣе вліянія, потому что только *U* и *I* имѣютъ внизу свои усиленія и потому что эти голоса лежатъ въ самой удобной средней части скалы, гдѣ силы различныхъ гласныхъ могутъ быть легко сдѣланы равными. Напротивъ въ женскихъ голосахъ это вліяніе гораздо значительнѣе. Именно высокіе тоны сопрано, падающіе въ предѣлы усиленія гласной *A*, воспроизводятся на этой гласной значительно сильнѣе, чѣмъ на всякой другой, равно какъ и верхніе тоны таковаго *A* въ высшей половинѣ трехчертной октавы выступаютъ гораздо сильнѣе, чѣмъ лежащіе здѣсь усиленные тоны *E* и *I*. Слѣдовательно между нижними гармоническими тонами трубки-резонатора надобно всегда выбирать такой, на которой пѣвецъ можетъ легко издать съ одинаковою силою сравниваемыя гласныя или же попросить его умѣрить легко издаваемый тонъ настолько, чтобы этотъ послѣдній сдѣлался равнымъ трудно издаваемому Однако при наблюденіяхъ посредствомъ трубокъ-резонаторовъ, равно какъ и посредствомъ камертоновъ, я нашелъ высоты усиленныхъ тоновъ у многихъ женскихъ голосовъ одинаковыми съ высотами мужскаго голоса; не могутъ проявиться только слишкомъ низкіе усиленные тоны *U* и *I*.

Я долженъ здѣсь еще упомянуть объ особенномъ обстоятельствѣ, отличающемъ человѣческій голосъ отъ другихъ музыкальныхъ инструментовъ и обнаруживающемъ особое отношеніе къ человѣческому уху. Выше высокихъ усиленныхъ тоновъ *I*, на протяженіи между e'''' и g'''', тоны фортепіано звучатъ особенно рѣзко и можно легко придти къ заключенію, что эти высокіе тоны имѣютъ слишкомъ твердые молотки или какъ нибудь уклоняются отъ сосѣднихъ по механизму. Однако сущность дѣла на всемъ протяженіи фортепіано одинакова, и если приставить къ уху совершенно маленькую стеклянную трубку или шаръ, то упомянутые рѣзкіе тоны скалы дѣлаются мягкими и слабыми какъ и другіе, тогда какъ другой нижеслѣдующій рядъ тоновъ проявляется сильнѣе и рѣзче. Отсюда слѣдуетъ что само человѣческое ухо благопріятствуетъ своимъ резонансомъ тонамъ между e'''' и g'''', и что оно само настроено въ одномъ изъ этихъ тоновъ. *) Въ чувствительномъ ухѣ эти ноты возбуждаютъ даже боль.

*) Въ послѣднее время я нашелъ, что правое мое ухо наиболѣе чувствительно къ f'''', а лѣвое къ c''''. Когда я вгонялъ воздухъ въ тимпанальную полость, то резонансъ нисходилъ до *cis*'''' и *gis*''''. Тонъ издаваемый

Поэтому верхніе тоны этого расположенія, доходя до такой высоты, какъ проявляются, такъ и поражаютъ ухо особенно сильно. Это-то вообще и происходитъ въ воспроизведенномъ сильно человѣческомъ голосѣ, получающемъ громкій характеръ. При сильныхъ мужскихъ голосахъ, которые поютъ forte, эти тоны слышатъ совмѣстно звучащими, въ качествѣ особой шероховатости въ голосѣ; самымъ же явственнымъ образомъ это слышно въ хоровомъ пѣніи, когда голоса немного кричатъ. На такой высотѣ уже каждый отдѣльный мужской голосъ даетъ диссонирующіе верхніе тоны. Если басы поютъ свой высокій *e*', то d'''' седьмой, e'''' восьмой, *fis*'''' девятый, *gis*'''' десятый верхній тонъ. Если теперь e'''' и *fis*'''' будутъ одновременно слышимы сильно, а d'''' и *gis*'''' слабѣе, то естественно, что это даетъ рѣзкій диссонансъ. Если сходятся многіе голоса, издающіе эти тоны съ маленькими различіями высотъ, то это даетъ особаго рода измѣненіе, которое воспринимаютъ всегда весьма легко снова, если на это обратили уже разъ вниманіе. При этомъ я не нашелъ различія въ гласныхъ, но если голоса поютъ piano, то упомянутый шумъ исчезаетъ, хотя сила хора все же еще можетъ быть довольно значительною. Этотъ родъ шума есть особенность человѣческаго голоса; инструменты оркестра не воспроизводятъ его такимъ же образомъ столь явственно и сильно. Ни на одномъ инструментѣ я никогда не слышалъ это такъ явственно, какъ въ человѣческомъ голосѣ.

Тѣже верхніе тоны слышатъ и въ сильно поющихъ голосахъ сопрано; въ голосахъ рѣзкихъ и неувѣренныхъ они дрожатъ и отъ этого получаютъ нѣкоторое сходство съ шумомъ, который они образуютъ въ звукахъ мужскихъ голосовъ. Но въ совершенно увѣренныхъ и благозвучныхъ женскихъ голосахъ, равно какъ и въ нѣкоторыхъ отличныхъ теноровыхъ, я уже ихъ слышалъ звучащими совершенно чисто и спокойно. Въ мелодическомъ ходѣ голосовъ при пѣніи, я слышу эти высокіе тоны четырехчертной октавы то нѣсколько восходящими, то нисходящими въ предѣлахъ малой терціи по мѣрѣ того, какъ различные верхніе тоны пѣтой ноты входятъ въ предѣлы, въ которыхъ наше ухо такъ чувствительно. Поразительно и то, что человѣческій голосъ такъ богатъ верхними тонами, къ которымъ человѣческое ухо такъ чувствительно. Госпожа Зейлеръ (Seiler) замѣчаетъ, что собаки также весьма чувствительны къ высокому скрипичному *e*.

Упомянутое усиленіе тоновъ, лежащихъ въ срединѣ четырехчерт-

обыкновенно сверчкомъ прямо отвѣчаетъ высшему тону резонанса; когда же я приставлялъ къ слуховому проходу коротенькую папковую трубочку, то чириканье сверчка слышалось поразительно слабѣе.

ной октавы, не имѣетъ впрочемъ ничего общаго съ характеристикою гласныхъ; я здѣсь о немъ упомянулъ только потому, что при изслѣдованіяхъ оттѣнка звука гласныхъ и человѣческаго голоса легко замѣчаютъ названные высокіе тоны; однако не слѣдуетъ склоняться искать въ нихъ особую характеристику отдѣльныхъ гласныхъ. Онѣ только характризуютъ напряженіе голоса.

Къ *U* присоединяется еще ворчаніе, которое происходитъ въ томъ случаѣ, когда поютъ съ закрытымъ ртомъ. Этотъ ворчащій тонъ употребляется при началѣ произношенія согласныхъ *M*, *N* и *NG*. Носовыя отверстія, которыя здѣсь служатъ для выхода струи воздуха, имѣютъ относительно величины носовой полости еще болѣе узкія отверстія, чѣмъ отверстіе полости рта при гласной *U*. Поэтому при ворчаніи тона, особенности *U* выдаются еще въ большой степени. Однако, хотя тутъ еще и существуютъ верхніе тоны, достигающіе даже довольно значительной высоты, но при повышеніи они еще скорѣе убываютъ въ силѣ, чѣмъ при *U*. Высшая октава основнаго тона имѣетъ еще довольно силы при ворчаніи, но всѣ высшіе частные тоны слабы. При ворчаніи на *M* и *N* оттѣнокъ еще немного измѣняется, потому что при *N* верхніе тоны заглушены менѣе, чѣмъ при *M*. Но ясное различіе этихъ согласныхъ происходитъ всё таки только въ то мгновеніе когда полость рта открывается или закрывается. Мы не можемъ здѣсь подробнѣе вдаваться въ сложеніе Звука остальныхъ согласныхъ потому что онѣ даютъ шумы безъ постоянной высоты тона, не музыкальные звуки, а мы должны здѣсь ограничиться только послѣдними.

Изложенная здѣсь теорія гласныхъ подтверждается посредствомъ опытовъ съ искусственными язычковыми трубками, къ которымъ приспособляютъ соотвѣтственныя надставныя трубки. Это впервые было сдѣлано Уиллисомъ (Willis), который соединялъ язычковыя трубки съ цилиндрическими надставными трубками измѣняющейся длины и извлекалъ различные тоны посредствомъ удлиненія надставной трубки. Самыя короткія трубки давали ему *I*, затѣмъ болѣе длинныя *E*, *A*, *O* и наконецъ *U*, которому соотвѣтствовала трубка въ черверть длины волны. При дальнѣйшемъ удлинненіи, гласныя являлись снова въ обратномъ порядкѣ. Опредѣленіе высоты тона трубокъ для низкихъ гласныхъ Уллисомъ хорошо согласуется съ моимъ. Для высшихъ же гласныхъ Уиллисъ, кажется, нашелъ относительно слишкомъ высокіе тоны, потому что длины волнъ дѣлаются тогда меньше діаметра трубки и поэтому обыкновенное вычисленіе высоты тона по одной только длинѣ трубки не могло быть болѣе примѣнимо. Искусственно воспроизведенныя гласныя *E* и *I* разнятся также отъ гласныхъ полости рта, вслѣдствіе отсутствія втораго резонанса и по-

этому, какъ говоритъ самъ Уиллисъ, отдѣлить ихъ другъ отъ друга хорошо нельзя.

ГЛАСНЫЯ.	ВЪ СЛОВАХЪ.	ВЫСОТЫ ТОНОВЪ УИЛЛИСА.	ВЫСОТЫ ТОНОВЪ ГЕЛЬМГОЛЬЦА.
O	*No*	c''	c''
A O	*Nought*	es''	es'
	Paw	g''	g''
A	*Part*	des'''	des'''
	Paa	f''	
E	*Pay*	d'''	b'''
	Pet	c''''	c''''
I	*See*	g''''	d''''

Когда примѣняютъ настроенныя шаровидныя полости, то гласныя получаются еще лучше и явственнѣе. Когда я приставлялъ къ язычковой трубкѣ, которая давала *b*, стеклянный шаръ-резонаторъ, дававшій также *b*, то получалъ гласную *U*; съ шаромъ въ *b'* я получилъ *O*; напротивъ съ шаромъ *b''* немного заглушенное *A*; съ шаромъ въ *d'''* рѣзкое *A*. Поэтому при одинаковой настройкѣ надставленныхъ полостей, мы получаемъ тѣже гласныя совершенно независимо отъ формы и стѣнокъ полостей. Мнѣ удавалось также воспроизводить одною и тою же язычковою трубкою различныя постепенности звука *Ä*, *Ö*, *E* и *I* тѣмъ, что приставлялъ стеклянные пустые шары, въ наружное отверстіе которыхъ была вставлена еще стеклянная трубка длиною отъ 6 до 10 сантиметровъ для того, чтобы при этихъ гласныхъ воспроизвести двойной резонансъ полости рта.

Уиллисъ далъ еще другой интересный способъ для воспроизведенія гласныхъ. Если быстро вращать зубчатое колесо, имѣющее много зубцовъ и заставить скользить пружину по его зубчатому краю, то она будетъ приподнята каждымъ зубцомъ и вслѣдствіе того получаютъ тонъ, коего число колебаній равняется числу прошедшихъ зубцовъ. Но и сама пружина, будучи однимъ изъ своихъ концовъ хорошо прикрѣплена и будучи приведена въ колебаніе, даетъ тонъ, который тѣмъ выше, чѣмъ пружина короче. Если теперь заставляютъ скользить пружину въ то время, когда вращаютъ съ одинаковою скоростью колесо и потомъ измѣняютъ ея длину, то при длинной пружинѣ получаютъ звукъ подобный *U*, при болѣе короткой *O*, *A*, *E*, *I*, ибо тонъ часовой пружины играетъ здѣсь роль усиленнаго тона гласной. Только это подражаніе гласнымъ въ дѣйствительности гораздо несовершеннѣе, чѣмъ получаемое посредствомъ язычковыхъ трубокъ. Но смыслъ этихъ опытовъ основывается очевидно также на

томъ, что воспроизводятся звуки, въ коихъ усиливаются извѣстные верхніе тоны, именно соотвѣтствующіе собственному тону звучащей пружины.

Уиллисъ далъ самъ другую теорію о сущности звуковъ гласныхъ, отличающуюся отъ той, которую мы здѣсь изложили, касательно общей связи всѣхъ остальныхъ акустическихъ явленій. Уиллисъ полагаетъ, что толчки воздуха воспроизводящіе звукъ гласныхъ, суть уже сами по себѣ быстро исчезающіе тоны, соотвѣтствующіе въ его послѣднемъ опытѣ собственному тону пружины, или короткому отголоску, который воспроизводитъ толчекъ или малый взрывъ воздуха въ полости рта, подобно тому какъ это происходитъ въ трубкѣ надставленной къ язычковой. Въ самомъ дѣлѣ, если стуча .. пластинкою по зубцамъ въ то время, когда приводятъ полость рта въ положеніе при которомъ воспроизводится какая либо гласная, то слышатъ нѣчто подобное звуку гласной. Описаніе Звуковаго движенія для гласныхъ Уиллиса сходится во всякомъ случаѣ довольно близко съ дѣйствительностью; но оно даетъ только родъ и способъ какъ происходитъ движеніе въ воздухѣ, а не соотвѣтствующую реакцію уха относительно этого движенія. Что и этотъ родъ движенія разлагается ухомъ на рядъ верхнихъ тоновъ по закону совмѣстнаго звучанія, это обнаруживается согласнымъ анализомъ звука гласной, исполненнымъ, какъ невооруженнымъ ухомъ, такъ и вооруженнымъ резонаторомъ. Тоже самое окажется еще осязательнѣе въ слѣдующей главѣ, при описаніи тѣхъ опытовъ, въ которыхъ звуки гласныхъ слагаются непосредственно изъ своихъ верхнихъ тоновъ.

Слѣдовательно звуки гласныхъ отличаются существенно отъ звуковъ большей части другихъ музыкальныхъ инструментовъ тѣмъ, что сила ихъ верхнихъ тоновъ зависитъ не отъ ихъ числа по порядку, а отъ ихъ абсолютной высоты. Напр.: если я пою гласную *A* на нотѣ *Es*, то усиленный тонъ будетъ *b''*, т. е. 12-й звука; если же я буду пѣть туже гласную на нотѣ *b'*, то будетъ усиленъ второй тонъ звука.

Изъ приведенныхъ примѣровъ, мы можемъ вообще извлечь слѣдующія правила о зависимости оттѣнка отъ сложенія звука:

1. Простые тоны, каковы тоны камертоновъ приспособленныхъ къ усиливающимъ трубкамъ и длинныхъ закрытыхъ органныхъ трубокъ, звучатъ весьма мягко и пріятно, безъ всякой грубости, но безсильно и когда низки, то заглушенно.

2. Звуки, сопровождаемые рядомъ низкихъ верхнихъ тоновъ средней силы приблизительно до шестаго, полнозвучнѣе и музыкальнѣе. Будучи сравниваемы съ простыми тонами, они имѣютъ нѣчто болѣе богатое и густое и пока имъ недостаетъ высшихъ верхнихъ тоновъ,

вполнѣ благозвучны и нѣжны. Сюда относятся звуки фортепіано, открытыхъ органныхъ трубокъ, болѣе нѣжные и слабые тоны человѣческаго голоса и рога, изъ которыхъ послѣдніе составляютъ переходъ къ звукамъ съ высокими верхними тонами; что касается флейтъ и слабо вдуваемыхъ флейтовыхъ регистровъ органа, то они приближаются къ простымъ тонамъ.

3. Если имѣются только нечетные верхніе тоны, какъ это бываетъ при узкихъ закрытыхъ органныхъ трубкахъ, при ударѣ фортепіанной струны по срединѣ, или при игрѣ на кларнетѣ, то звукъ принимаетъ заглушенный характеръ, или при большомъ числѣ верхнимъ тоновъ онъ дѣлается гнусливымъ. Если основный тонъ превышаетъ въ силѣ, то звукъ полонъ; напротивъ онъ жидокъ, если этотъ послѣдній недостаточно превышаетъ въ силѣ верхніе тоны. И такъ звукъ длинныхъ открытыхъ органныхъ трубокъ полнѣе звука малыхъ; звукъ струнъ, если ихъ ударяютъ молотками фортепіано, полнѣе, чѣмъ когда ихъ ударяютъ палочкою, или же когда ихъ дергаютъ пальцемъ; тонъ язычковыхъ трубокъ съ соотвѣтствующими надставными трубками полнѣе ихъ тона безъ надставныхъ трубокъ.

4. Если высшіе верхніе тоны, находящіеся выше шестаго или седьмаго, весьма явственны, то звукъ становится рѣзокъ и грубъ. Причину этого мы узнаемъ впослѣдствіи изъ диссонансовъ, которые между собою составляютъ высокіе верхніе тоны. Степень рѣзкости можетъ быть различна; при незначительной силѣ высокіе верхніе тоны не ограничиваютъ существенно степень музыкальной годности; они напротивъ благопріятствуютъ характеристикѣ и могуществу выраженія въ музыкѣ. Изъ этого отдѣла звуковъ особенно важны звуки смычковыхъ инструментовъ, затѣмъ большей части язычковыхъ трубокъ, гобоя, фагота, фисгармоники и человѣческаго голоса. Грубые и трескучіе звуки мѣдныхъ инструментовъ необыкновенно пронзительны и вслѣдствіе этого производятъ впечатлѣніе большей силы, чѣмъ подобные же звуки съ мягкимъ оттѣнкомъ. Поэтому они сами по себѣ мало пригодны къ художественной музыкѣ, но имѣютъ большое значеніе въ оркестрѣ. Какимъ образомъ высокіе диссонирующіе верхніе тоны дѣлаютъ звукъ пронзительнымъ окажется впослѣдствіи.

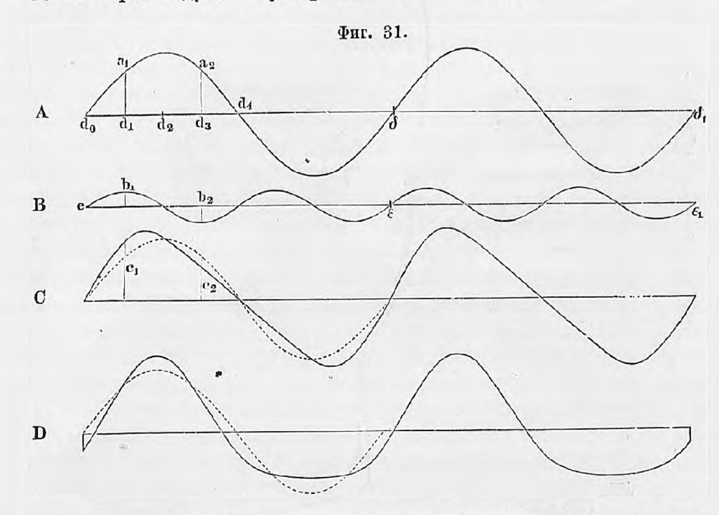
ГЛАВА VI.

О воспринятіи оттѣнка звука.

До сихъ поръ мы старались только анализировать данные звуки, опредѣляя представляемыя ими различія по числу и силѣ ихъ верхнихъ тоновъ. Прежде чѣмъ мы будемъ въ состояніи точнѣе опредѣлить роль уха при воспринятіи оттѣнка звука, необходимо изслѣдовать: достаточно ли того, чтобы верхніе тоны имѣли опредѣленную силу для воспринятія опредѣленнаго музыкальнаго оттѣнка, или же независимо отъ этого могутъ существовать и восприниматься еще другія различія оттѣнка звука. Такъ какъ мы занимаемся главнымъ образомъ музыкальными звуками, т. е. такими, которые воспроизводятся чрезъ точное періодическое движеніе воздуха и выключаемъ всѣ неправильныя движенія воздуха, являющіяся какъ шумъ, то этотъ вопросъ допускаетъ еще болѣе опредѣленное ограниченіе. Если мы себѣ именно представимъ движеніе воздуха даннаго звука, разложенное на сумму маятникообразныхъ колебаній, то на форму суммоваго движенія будутъ вліять не только силы всѣхъ этихъ отдѣльныхъ маятникообразныхъ колебаній, но также и ихъ положенія другъ къ другу, или, выражаясь какъ физики, ихъ разность фазъ. Если мы напр: сложимъ оба маятникообразныя колебанія *A* и *B* фиг. 31 такъ, чтобы точка *e* кривой *B* наложилась бы сперва на точку d_0, кривой *A*, а потомъ на точку d_1, то мы получимъ двѣ совершенно различныя формы колебаній *C* и *D*. Посредствомъ перемѣщенія начальной точки *e* въ d_2 или d_3, мы получимъ еще другія формы, которыя суть обращенія формъ *C* и *D*, какъ это уже было объяснено выше. Если теперь оттѣнокъ звука зависитъ только отъ силы верхнихъ тоновъ, то движенія *C* и *D* и т. д. должны производить на ухо одинаковое впечатлѣніе. Но если онъ также зависитъ отъ

положенія обѣихъ волнъ другъ къ другу, или отъ ихъ разности фазъ, то онѣ произведутъ на ухо различное впечатлѣніе.

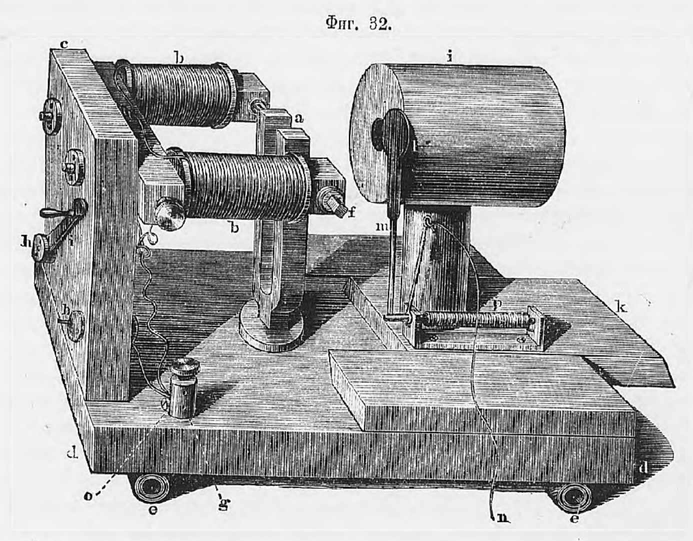
Фиг. 31.



Для того, чтобы рѣшить этотъ вопросъ, было необходимо слагать различные звуки изъ простыхъ тоновъ и изслѣдовать имѣетъ ли слѣдствіемъ видоизмѣненіе разности фазъ на видоизмѣненіе звука въ томъ случаѣ, когда сила верхнихъ тоновъ постоянна. Простые тоны большой чистоты, которые могутъ быть точно опредѣлены въ ихъ силѣ и ихъ разности фазъ, получаютъ наилучшимъ образомъ посредствомъ камертоновъ, коихъ тонъ, какъ это уже было описано прежде, усиливается посредствомъ усиливающей трубки и передается массѣ воздуха. Для того, чтобы привести камертоны въ весьма равномѣрное продолжительное движеніе, ихъ ставятъ между оконечностями маленькихъ электромагнитовъ, такимъ же образомъ какъ это изображено на фиг. 32. Каждый камертонъ *a* укрѣпляется своимъ основаніемъ на особой доскѣ *dd*, которая покоится на приклеенныхъ каучуковыхъ трубкахъ *ee* для того, чтобы препятствовать непосредственной передачѣ колебаній камертона столу, отчего они были бы слышимы. Вѣтви электромагнита обернутыя проволокою обозначены черезъ *bb*; оконечности его, обращеные къ камертону обозначены чрезъ *f*. На горизонтальной дощечкѣ *dd* находятся два зажима *g*, которые находятся въ непосредственномъ соединеніи съ проволокою электромагнита и служатъ къ тому, чтобы принимать другія проволоки чрезъ которыя могутъ быть проведены токи. Для того, чтобы привести камертоны въ быстрое колебаніе, эти токи должны быть мѣня-

ющейся періодически силы. Для ихъ возбужденія служитъ особый аппаратъ, который будетъ описанъ ниже.

Фиг. 32.



Если при этомъ расположеніи камертоны приводятся въ колебаніе, то ихъ тонъ слышится необыкновенно слабо, потому что они могутъ сообщить свои колебанія массѣ воздуха и окружающимъ ихъ твердымъ тѣламъ только въ весьма слабой степени. Если нужно, чтобы тонъ былъ слышимъ сильно, то настроенная по тону камертона усиливающая трубка *i* должна быть къ нему приближена. Эта усиливающая трубка укрѣплена на дощечкѣ *k*, которая можетъ быть передвигаема въ вырѣзѣ дощечки *dd*, чѣмъ достигается возможность приближать отверстіе трубки къ камертону. Для того, чтобы показать отдѣльныя части прибора яснѣе, трубка представлена на рисункѣ удаленною отъ камертона; при употребленіи прибора она придвигается по возможности ближе. Отверстіе усиливающей трубки закрыто крышечкою *l*, которая держится на рычагѣ *m*. Если потянуть за шнурокъ *n*, то крышка будетъ удалена отъ отверстія и тогда тонъ камертона съ силою передается воздуху. Если освободить шнурокъ, то крышка дѣйствіемъ пружины *P* закроетъ снова отверстіе и тонъ камертона слышимъ болѣе не будетъ. Закрывая отверстіе трубки только частями, можно давать тону камертона любую желаемую силу. Всѣ шнурки, которые открываютъ усиливающія трубки различныхъ камертоновъ, проведены къ маленькой клавіатурѣ и такъ

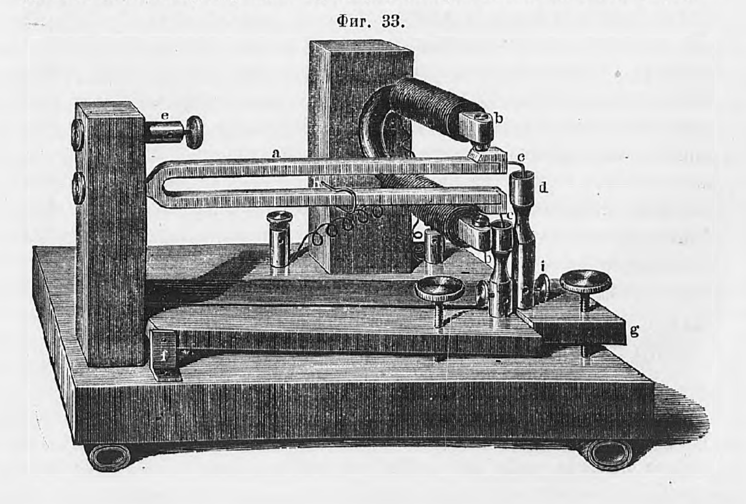
соединены съ ея клавишами, что когда одну изъ нихъ опускаютъ, то открывается и соотвѣтствующая ей усиливающая трубка.

Я сначала имѣлъ въ распоряженіи восемь таковыхъ камертоновъ, которые соотвѣтствовали тону *B* и его первымъ семи верхнимъ гармоническимъ тонамъ (*b*, *f'*, *b'*, *d''*, *f''*, *as''* и *b''*). Этотъ основной тонъ соотвѣтствуетъ примѣрно той части скалы, въ которой обыкновенно говорятъ басовые голоса; впослѣдствіи я еще пользовался камертонами для тоновъ *d'''*, *f'''*, *as'''* и *b'''* и за основный тонъ звука принималъ *b*.

Для того, чтобы привести камертоны въ движеніе, употребляются прерывные токи, пропускаемые чрезъ спирали электромагнитовъ, при чемъ число прохожденій токовъ должно быть совершенно равно числу колебаній нижайшаго камертона *B*, именно 120 въ секунду. Всякое прохожденіе тока дѣлаетъ на мгновеніе магнитомъ желѣзо электромагнита *bb*, которое тогда и притягиваетъ намагниченныя самостоятельно вѣтви камертоновъ. Такимъ образомъ вѣтви нижайшаго камертона *B* будутъ притянуты при каждомъ колебаніи полюсами электромагнита одинъ разъ; вѣтви втораго камертона *b*, дѣлающіе вдвое болѣе колебаній, будутъ притянуты одинъ разъ при каждомъ второмъ колебаніи и т. д.; вслѣдствіе этого, колебанія камертоновъ какъ возбуждаются, такъ и поддерживаются пока чрезъ аппаратъ пропукаютъ токи. При этомъ колебанія низкихъ камертоновъ весьма сильны, а высокихъ относительно слабы.

Для возбужденія такихъ прерывныхъ, точно опредѣленной періодичности токовъ, служитъ приборъ, изображенный на фиг. 33. Гори-

Фиг. 33.



зонтально прикрѣпленный камертонъ a находится между вѣтвями электромагнита bb; на оконечностяхъ камертона прикрѣплены двѣ платиновыя проволоки cc, погруженныя въ двѣ чашечки d, наполненныя на половину ртутью и на половину алькоголемъ; эти чашечки составляютъ верхнія оконечности латунныхъ столбиковъ. Для принятія проволокъ столбики имѣютъ зажимы i и стоятъ на двухъ дощечкахъ f и g, которыя могутъ вращаться около оси f, при чемъ каждая изъ нихъ можетъ быть приподнята и опущена посредствомъ винтовъ g для того, чтобы была возможность ихъ съ точностью установить такъ, чтобы концы платиновыхъ проволокъ cc прикасались бы въ чашечкахъ къ находящейся подъ алькоголемъ ртути. Третій зажимъ e находится въ связи съ основаніемъ камертона. Если камертонъ колеблется и токъ чрезъ него проводится отъ i къ e, то послѣдній будетъ прерываемъ каждый разъ, какъ оконечность камертона a отдѣлитъ въ чашечкѣ d проволоку отъ ртути и будетъ снова возстановляемъ, когда платиновая проволока погрузится въ ртуть. Если прерываемый такимъ образомъ токъ проводится одновременно чрезъ электромагнитъ bb фиг. 33, то послѣдній, дѣлаясь намагниченнымъ каждый разъ, какъ чрезъ него проходитъ токъ, приводитъ въ колебанія намагниченный камертонъ. Для проведенія тока употребляется обыкновенно только одна изъ чашечекъ d. Алькоголь наливается на ртуть для того, чтобы избѣгнуть при перерывѣ тока ея спаленія отъ образующихся искръ. Этотъ способъ перерыва тока былъ найденъ Нефомъ (Neef); онъ пользовался вмѣсто камертона колеблющеюся пружиною, примѣненіе которой встрѣчается большею частью въ часто употребляемыхъ для медицинскихъ цѣлей индуктивныхъ аппаратахъ. Но колебанія пружины сообщаются всѣмъ близь лежащимъ тѣламъ и поэтому для нашей цѣли слишкомъ слышимы и кромѣ того слишкомъ неправильны. Вслѣдствіе этого я счелъ необходимымъ употреблять вмѣсто пружины камертонъ. Основаніе сдѣланнаго совершенно симметрично камертона чрезвычайно мало сотрясается его колебаніями и поэтому не приводитъ соединенныя съ нимъ другія тѣла въ столь сильное сотрясеніе, какъ укрѣпленный конецъ прямой пружины. Камертонъ только что описаннаго аппарата долженъ быть въ совершенномъ однозвучіи съ камертономъ основнаго тона B; для того чтобы имѣть возможность этого достигнуть, я воспользовался маленькими щипчиками h изъ твердой стальной проволоки, которыя надѣты на одну изъ вѣтвей. Если ихъ придвигаютъ къ свободной оконечности вѣтви, то тонъ становтся ниже; придвигая же ихъ къ основанію, тонъ дѣлается выше. *)

*) Аппаратъ былъ изготовленъ Фесселемъ (Fessel) въ Кёльнѣ; болѣе точное описаніе отдѣльныхъ частей аппарата и указанія для опыта даны въ приложен. VIII.

Если усиливающія трубки закрыты, когда весь аппаратъ приведенъ въ дѣйствіе, то всѣ камертоны приводятся въ равномѣрное движеніе; однако ихъ тоны не воспринимаются; самое большое, если слышать легкое жужжаніе, которое происходитъ отъ непосредственнаго вліянія камертоновъ на воздухъ. Но если открыть одну или нѣсколько усиливающихъ трубокъ, то ихъ тоны проявляются достаточно сильно, а именно тѣмъ сильнѣе, чѣмъ значительнѣе открываютъ трубки. Такимъ образомъ можно быстро сдѣлать другъ за другомъ слышимыми различныя сложенія основнаго тона съ однимъ или нѣсколькими верхними гармоническими тонами различной силы и этимъ воспроизводить звуки различныхъ оттѣнковъ.

Между натуральными звуками, которые, по видимому, пригодны для подражанія камертонами, выступаютъ прежде всего гласныя человѣческаго голоса, потому что онѣ въ себѣ содержатъ относительно мало посторонняго шума и представляютъ легко воспринимаемыя явственныя различія въ оттѣнкѣ звука. При этомъ большая часть гласныхъ характеризуется относительно низкими верхними тонами, которые могутъ дать наши камертоны; изъ этого предѣла выходятъ немного только E и I. Движеніе совершенно высокихъ камертоновъ, находясь подъ вліяніемъ такихъ токовъ, слишкомъ слабо для того, чтобы имъ пользоваться при опытахъ, которые при этомъ нарушаются шумомъ отъ искръ.

Первый рядъ опытовъ я дѣлалъ съ восьмью камертонами отъ B до b''. U, O, $\ddot{O}$, а также еще и A могли составиться; однако послѣдняя составлялась не особенно рѣзко, потому что въ ней недоставало, находящихся непосредственно выше преобладающаго тона b'', верхнихъ тоновъ c''' и d''', замѣтно усиленныхъ въ натуральномъ звукѣ гласной. Основной тонъ ряда B, будучи взятъ отдѣльно, давалъ заглушенное U, гораздо заглушеннѣе того, которое можетъ воспроизводиться въ разговорѣ. Звукъ становился схожимъ съ U, когда заставляли совмѣстно слабо звучать второй и третій частные тоны b и f'. Когда издавали сильно b' а затѣмъ слабѣе b, f' и d'', то воспроизводилось весьма благозвучное O. При этомъ основной тонъ B долженъ былъ быть немного заглушенъ. Если я тогда внезапно измѣнялъ положеніе крышекъ предъ усиливающими трубками, дѣлая вполнѣ сильнымъ B, а всѣ верхніе тоны слабыми, то аппаратъ выговаривалъ очень хорошо и явственно послѣ O—, U.

A или скорѣе $\mathring{A}$ я получилъ тѣмъ, что давалъ по возможности выдѣляться высшимъ тонамъ ряда, именно отъ пятаго до восьмаго, а нижніе ослаблялъ.

Гласныя втораго и третьяго ряда, которые имѣютъ еще болѣе высокіе характерные тоны, подражались весьма не полно посредствомъ выдѣленія ихъ болѣе низкихъ усиленныхъ тоновъ. Правда, что они тогда сами по себѣ не были явственны, но по-крайней мѣрѣ распознавались при послѣдовательномъ сопоставленіи съ *U* и *O*. Такъ напр. аппаратъ давалъ довольно сносное и явственное *Ä*, когда я сильно выдерживалъ четвертый и пятый тоны и слабо — тоны лежащіе ниже; когда я усиливалъ третій тонъ и воспроизводилъ всѣ другіе слабо, онъ давалъ нѣчто въ родѣ *E*. Различіе этихъ обоихъ гласныхъ *Ä* и *E* отъ *O* заключалось главнымъ образомъ въ томъ, что при нихъ основной тонъ и его октава должны были быть гораздо слабѣе, чѣмъ при *O*. *)

Для того, чтобы распространить опыты, и на открытыя гласныя, я впослѣдствіи велѣлъ себѣ еще изготовить камертоны d''', f''', as''' и b''', изъ которыхъ однако два первые звучатъ весьма слабо; вмѣсто прежняго болѣе низкаго тона *B*, я выбралъ основнымъ тономъ *b*. Тогда мнѣ удалось хорошо воспроизвести этими камертонами *Ä* и *A*, а *E* гораздо явственнѣе, чѣмъ прежде. Однако я не могъ достигнуть до высокаго характернаго тона *I*.

Въ этомъ болѣе высокомъ рядѣ камертоновъ, отдѣльно взятый основной тонъ *b* давалъ снова *U*. Тотъ же камертонъ, будучи приведенъ въ колебанія средней силы и сопровождаемъ своею сильною октавою b' и слабѣе дуодецимою f'', даетъ *O*, коего характерный тонъ опять таки b'. *A* получаютъ въ томъ случаѣ, если къ *b* присоединить звучащій съ умѣренною силою b' и f'', и заставить сильно звучать характерные тоны гласной b'' и d'''. Для того, чтобы перейти отъ *A* къ *Ä*, надо немного усилить b' и f'' сосѣдственные тоны низкаго характернаго тона d'', заглушить b'' и напротивъ по возможности усилить d''' и f'''. Для *E* нужно выдерживать оба самые низкіе тона ряда *b* и b' въ средней силѣ, какъ сосѣдніе низкаго тона усиленія f', а высшіе f'', as''', b''' заставить по возможности выдѣляться. Но до сихъ поръ мнѣ не удавалось воспроизвести такъ хорошо эту гласную какъ другія, потому что высокіе камертоны были слишкомъ слабы и потому что верхніе тоны, лежащіе непосредственно выше характерныхъ тоновъ, не должны, какъ кажется, совершенно отсутствовать.

Подобно упомянутымъ гласнымъ человѣческаго голоса, могутъ быть также подражаемы тоны органныхъ трубокъ различныхъ реги-

*) По этимъ указаніямъ слѣдуетъ исправить выводы въ мюнхенскихъ ученыхъ отчетахъ 20 Іюня 1859 г. Въ то время мнѣ не были еще извѣстны высшіе верхніе тоны *E* и *I* и чтобы отличить гласную *O* отъ несовершенной *E*, я дѣлалъ ее слишкомъ заглушенною.

стровъ, предполагая, что онѣ не даютъ слишкомъ высокихъ верхнихъ тоновъ; однако въ подражаемыхъ тонахъ недостаетъ того рѣзкаго шума, который даетъ струя воздуха, отраженная отъ губы трубки. Камертоны ограничены подражаніемъ чисто музыкальной части звука. Для подражанія язычковымъ инструментамъ недостаютъ рѣзкіе высокіе верхніе тоны; однако удается подражать гнусливому звуку кларнета посредствомъ ряда нечетныхъ верхнихъ тоновъ; болѣе же нѣжные звуки рога подражаются посредствомъ полнаго хора всѣхъ камертоновъ.

Но если подражаніе всѣмъ звукамъ этимъ аппаратомъ и невозможно, то онъ даетъ возможность къ рѣшенію важнаго вопроса, а именно: измѣняется ли оттѣнокъ звука отъ измѣненія разности фазъ. Этотъ вопросъ, какъ я уже сказалъ въ началѣ этой главы, имѣетъ существенное значеніе для ученія о слуховыхъ ощущеніяхъ; тѣмъ не менѣе я долженъ просить извиненія у читателей не вполнѣ знакомыхъ съ физикою, если изложеніе опытовъ, произведенныхъ для его рѣшенія показалось имъ, быть можетъ, труднымъ и сухимъ.

Простѣйшій способъ измѣненія фазъ верхнихъ тоновъ заключается въ томъ, что немного разстраиваютъ усиливающія трубки съуженіемъ ихъ отверстій, отчего резонансъ дѣлается слабѣе и фаза одновременно мѣняется. Если усиливающая трубка настроена такимъ образомъ, что тонъ, который въ немъ возбуждаетъ сильнѣйшій резонансъ, точно совпадаетъ съ тономъ принадлежащаго къ ней камертона, то, сообразно математическому анализу *), получится, что наибольшая скорость воздуха въ отверстіи трубки, обращенная внаружу, совпадаетъ съ наибольшею скоростью оконечностей камертона, обращенною во внутрь. Если напротивъ трубка настраивается нѣсколько ниже, то наибольшая скорость воздуха наступаетъ нѣсколько раньше наибольшей скорости камертона, а если трубка настроена выше, то она наступаетъ позднѣе. Чѣмъ болѣе измѣняютъ настройку, тѣмъ разность фазъ становится значительнѣе и наконецъ она дѣлается равною четверти продолжительности колебанія. Величины разности фазъ находятся при этомъ въ непосредственной связи съ силою резонанса, такъ что разность фазъ можно также до нѣкоторой степени опредѣлить по силѣ резонанса. Если, при совершенномъ однозвучіи трубки съ камертономъ, мы положимъ силу звука въ трубкѣ равною 10 и представимъ себѣ продолжительность одного цѣлаго колебанія раздѣленною, на подобіе окружности круга, на 360 градусовъ, то сила резонанса будетъ зависѣть отъ разности фазъ слѣдующимъ образомъ:

*) Смотри приложеніе IX.

Сила резонанса.	Разность фазъ въ градусахъ.
10	0°
9	35° 54′
8	50° 12′
7	60° 40′
6	68° 54′
5	75° 31′
4	80° 48′
3	84° 50′
2	87° 42′
1	89° 26′

Отсюда слѣдуетъ, что относительно малое ослабленіе резонанса посредствомъ измѣненія настройки производитъ значительныя разности фазъ, тогда какъ при большемъ ослабленіи, фазы измѣняются незначительно. Этимъ обстоятельствомъ можно воспользоваться для производства всевозможныхъ измѣненій фазъ при сложеніи звуковъ гласныхъ посредствомъ камертоновъ; нужно только передвинуть крышку передъ усиливающею трубкою на столько, чтобы замѣтно ослабилась сила тона. Если умѣютъ приблизительно опредѣлить отношеніе, въ которомъ эта сила уменьшилась, то разность фазъ находятъ изъ вышеприведенной таблицы. Такимъ образомъ можно измѣнять колебанія даннаго тона на всякую величину до четвертой части продолжительности колебанія. Измѣненіе фазъ на половину продолжительности колебанія достигаютъ тѣмъ, что пропускаютъ токъ въ электромагнитѣ соотвѣтствующаго камертона въ противоположномъ направленіи. Тогда оконечности камертона, вмѣсто того, чтобы быть притянутыми электромагнитомъ во время прохожденія тока, будутъ оттолкнуты и движеніе камертона сдѣлается обратнымъ предъидущему. Однако не слѣдуетъ долго продолжать подобное возбужденіе камертона отталкивающими токами, потому что иначе магнетизмъ камертона постепенно ослабится, тогда какъ притягивающіе токи увеличиваютъ его магнетизмъ, или же вліяютъ на его maximum. Извѣстно, что магнетизмъ желѣзныхъ массъ, приведенныхъ въ сильныя сотрясенія, измѣняется легко.

Если такимъ образомъ сложили звукъ, въ которомъ ослаблены соотвѣтствующіе тоны и измѣнены ихъ фазы посредствомъ открыванія на половину отверстій нѣкоторыхъ усиливающихъ трубокъ, то можно сложить тотъ же звукъ съ такимъ же ослабленіемъ соотвѣтствующихъ частныхъ тоновъ, не измѣняя фазъ посредствомъ совершеннаго открыванія отверстій усиливающихъ трубокъ и удаленія ихъ отъ приспособленныхъ къ нимъ камертоновъ настолько, насколько необходимо ослабить тоны камертоновъ.

Если напр. привести въ звучаніе камертоны B и b другъ противъ друга, сначала при вполнѣ открытыхъ усиливающихъ трубкахъ и совершенно вмѣстѣ, то они совершатъ свои колебанія такимъ образомъ, что въ воздушныхъ волнахъ фиг. 31 A и B, точки c и d_0 совпадутъ другъ съ другомъ, и что колебаніямъ воздуха въ болѣе отдаленныхъ частяхъ комнаты будетъ соотвѣтствовать сложная кривая колебаній C. Теперь можно также, посредствомъ большаго или меньшаго закрыванія усиливающей трубки камертона B, заставить точку e кривой B совпасть между точками d_0 и d_1 кривой A. Если e должно совпасть съ d_1, то сила тона B (si_0 ♭) должна сдѣлаться почти равною $^3/_4$-мъ силы тона того же тона при открытой трубкѣ. Съ другой стороны можно заставить совпасть точку e съ точкою d_4, если дать въ одномъ изъ электромагнитовъ обратное направленіе току и совершенно открыть усиливающія трубки. Наконецъ посредствомъ неполнаго открыванія трубки B, можно снова направить точку e противъ точки δ. Съ другой стороны, если точка e совпадаетъ съ d_0 (или что тоже самое съ δ) или же съ d_4, то ее можно также заставить перемѣститься обратно отъ δ къ d_4 или отъ d_4 къ d_3 посредствомъ неполнаго открыванія трубки b. Во всѣхъ этихъ случаяхъ отношенія силы тоновъ могутъ быть уравнены, не измѣняя фазъ тѣмъ, что не измѣняя величины отверстія, удаляютъ ту или другую трубку отъ приспособленнаго къ ней камертона.

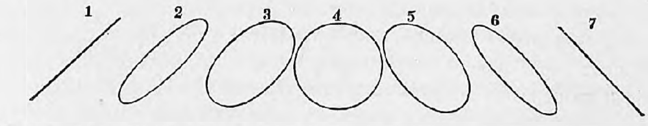
Слѣдовательно всевозможныя разности фазъ могутъ быть произведены описаннымъ способомъ между любыми двумя усиливающими трубками. Натурально, что тотъ же образъ дѣйствія можетъ быть примѣненъ для любаго числа трубокъ. Я испробовалъ такимъ образомъ разнообразныя комбинаціи тоновъ съ различными разностями фазъ, но никогда не находилъ, чтобы при этомъ измѣнялся оттѣнокъ звука хотя бы малѣйшимъ образомъ. Онъ былъ совершенно одинаковъ, когда я ослаблялъ отдѣльные частные тоны посредствомъ неполнаго открыванія трубокъ, или посредствомъ ихъ удаленія отъ камертоновъ при вполнѣ открытыхъ трубкахъ; слѣдовательно предложенный нами выше вопросъ разрѣшается тѣмъ, что **оттѣнокъ музыкальной части звука зависитъ только отъ числа и силы частныхъ тоновъ, но не отъ ихъ разности фазъ.**

Приведенный до сихъ поръ ходъ доказательства о независимости оттѣнка звуковъ отъ разности фазъ достигается легче всего опытомъ, но сила доказательства основывается только на томъ теоретическомъ воззрѣніи, что фазы измѣняются одновременно съ

силою тона и это воззрѣніе можетъ быть дано только математическимъ анализомъ. Колебанія воздуха мы неможемъ сдѣлать непосредственно видимыми. Однако опытъ можетъ быть немного измѣненъ такъ, что измѣненныя фазы сдѣлаются непосредственно видимыми, если мы разстроимъ не усиливающія трубки, а камертоны; это легко достигается посредствомъ налѣпливанія кусочковъ воска. Для фазъ камертона, колеблющагося подъ вліяніемъ токовъ, существуетъ тотъ же законъ, какъ и для усиливающихъ трубокъ. Если посредствомъ измѣненія настройки камертона, сила его тона постепенно доводится отъ maximum до нуля, то фаза постепенно измѣнится на четвертую часть продолжительности колебанія; фаза движенія воздуха сохраняетъ постоянно тоже отношеніе къ фазѣ колебанія камертона, когда высота тона, опредѣляемая числомъ разряженій, не нарушена утяжеленіемъ его вѣтвей. Это измѣненіе фазы камертона можетъ быть непосредственно наблюдаемо посредствомъ микроскопа вибрацій Лиссажу, который уже былъ описанъ выше и изображенъ на фиг. 22. Вѣтви камертона и микроскопа инструмента устанавливаютъ горизонтально, а изслѣдуемый камертонъ вертикально; осыпавъ верхнюю оконечность одной изъ вѣтвей крахмальною пылью, направляютъ микроскопъ на одно изъ зернышекъ крахмала и возбуждаютъ оба камертона посредствомъ токовъ камертона прерывателя (Фиг. 33). Камертонъ прибора Лиссажу находится въ однозвучіи съ камертономъ прерывателемъ. Крахмальное зернышко колеблется горизонтально, а объективное стекло микроскопа вертикально; вслѣдствіе сложенія обоихъ движеній происходятъ такимъ образомъ кривыя, какъ и въ прежде описанныхъ наблюденіяхъ надъ скрипичными струнами.

Если наблюдаемый камертонъ находится въ однозвучіи съ камертономъ прерывателемъ, то кривая будетъ наклонною прямою линіею фиг. 34 (1), въ то время, когда оба камертона проходятъ одновременно

Фиг. 34.

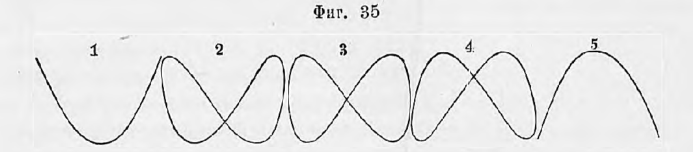


черезъ свое положеніе равновѣсія; прямая линія проходитъ чрезъ удлиненно растянутый и наклонно расположенный эллипсъ (2, 3) въ кругъ или вертикальный эллипсъ (4), когда разность фазъ возрастаетъ до четвертой части продолжительности колебанія; затѣмъ переходитъ чрезъ противоположно наклоненный эллипсъ (5, 6) въ

такую же прямую линію (7), когда разность фазъ увеличится до половины продолжительности колебанія.

Если второй камертонъ звучитъ въ высшей октавѣ камертона прерывателя, то кривыя фиг. 35 (1, 2, 3, 4, 5) изобразятъ рядъ формъ;

Фиг. 35



3-я соотвѣтствуетъ тому случаю, когда оба камертона проходятъ одновременно чрезъ положеніе равновѣсія; 2-я и 4-я отличаются отъ этого одновременнаго прохожденія на $^1/_{12}$, а 1 и 5 на $^1/_4$ длины волны высшаго камертона.

Если наконецъ привести камертонъ въ звучаніе въ возможно точномъ униссонѣ съ камертономъ прерывателемъ, такъ чтобы оба дали свои сильнѣйшія колебанія, а за тѣмъ немного измѣнять настройку налѣпляемымъ и снимаемымъ воскомъ, то въ тоже время увидятъ, какъ видимая въ микроскопѣ фигура переходитъ въ другую; этимъ путемъ можно весьма легко убѣдиться въ справедливости приведеннаго закона. Для производства опытовъ надъ оттѣнкомъ звука, настраиваютъ первоначально всѣ камертоны съ возможною точностію по верхнимъ гармоническимъ тонамъ камертона прерывателя и производятъ желаемое соотношеніе силъ посредствомъ удаленія усиливающихъ трубокъ; затѣмъ разстроиваютъ камертоны по желанію, налѣпливая на нихъ кусочки воска. Величину кусочковъ воска можно соразмѣрить предварительно при наблюденіяхъ посредствомъ микроскопа такъ, чтобы они давали разность фазъ требуемой величины. Но отъ этого колебанія камертоновъ становятся одновременно также слабѣе, и поэтому силы тоновъ слѣдуетъ сдѣлать опять равными прежнимъ посредствомъ приближенія или удаленія усиливающихъ трубокъ.

Результатъ опытовъ, при которыхъ разстраиваются камертоны, опять таки тотъ же, какъ при разстраиваніи усиливающихъ трубокъ, т. е. нельзя подмѣтить никакого измѣненія оттѣнка по крайней же мѣрѣ такого, которое было бы достаточно явственно для того, чтобы быть распознаваемо по прошествіи короткаго промежутка времени нѣсколькихъ секундъ, употребляемыхъ для измѣненія аппарата, слѣдовательно здѣсь во всякомъ случаѣ нѣтъ такого измѣненія оттѣнка, отъ котораго одна бы гласная переходила въ другую.

Здѣсь слѣдуетъ упомянуть о кажущемся изъ этого правила исключеніи. Если не совершенно вѣрно настроить камертоны *B* и *b* и привести ихъ въ колебаніе смычкомъ или ударомъ, то привычное ухо услышитъ совершенно слабыя дрожанія, которыя проявятся какъ малыя измѣненія силы тона и оттѣнка звука. Эти дрожанія происходятъ отъ измѣненія въ разностяхъ фазъ колеблющихся камертоновъ. Объясненіе этого будетъ дано въ статьѣ о комбинаціонныхъ тонахъ, гдѣ окажется, что эти малыя измѣненія оттѣнка звука могутъ быть отнесены къ измѣненіямъ силы одного изъ тоновъ.

Вслѣдствіе этого мы можемъ постановить закономъ, что различія **между музыкальными оттѣнками звука зависятъ только отъ присутствія и силы частныхъ тоновъ, но не отъ ихъ разности фазъ.** Здѣсь однако слѣдуетъ замѣтить, что дѣло идетъ только объ опредѣленномъ нами выше музыкальномъ оттѣнкѣ. Если звукъ соединенъ съ немузыкальными шумами, какъ-то: трескомъ, царапаньемъ, свистомъ, шипѣньемъ, то мы можемъ ихъ разсматривать или какъ неправильно періодическія движенія или же какъ происходящія отъ весьма высокихъ, очень близко другъ къ другу лежащихъ и рѣзко между собою диссонирующихъ верхнихъ тоновъ. На эти послѣдніе мы не можемъ пока распространить нашихъ опытовъ и поэтому должны оставить въ сомнѣніи вопросъ о вліяніи разности фазъ при такихъ диссонирующихъ тонахъ. По всей вѣроятности будущія теоретическія изслѣдованія покажутъ, что это вліяніе дѣйствительно существуетъ.

Если дѣло идетъ только о томъ, чтобы подражать гласнымъ посредствомъ сложныхъ звуковъ, не контролируя разности фазъ отдѣльныхъ частныхъ тоновъ, то этого также можно довольно хорошо достигнуть посредствомъ органныхъ трубокъ. Только надо имѣть покрайней мѣрѣ два ряда трубокъ: одинъ,—сильно звучащихъ открытыхъ, другой,—слабо звучащихъ закрытыхъ, потому что, измѣняя силу вѣтра, нельзя измѣнять силу тона безъ того, чтобы въ тоже время не измѣнить также и высоты тона. Такой двойной рядъ трубокъ, дающій первые шестнадцать частныхъ тоновъ *B* я получилъ отъ господина Аппуна изъ Ганау (Appun in Hanau). Всѣ эти трубки стоятъ на одномъ общемъ духовомъ ящикѣ, имѣющемъ задвижки, коими можно открывать и закрывать трубки въ отдѣльности. Двѣ наибольшія задвижки отдѣляютъ ящикъ отъ мѣховъ. Въ то время, когда послѣднія задвинуты, задвижки принадлежащія отдѣльнымъ трубкамъ выдвигаютъ такъ, какъ это требуетъ желаемая комбинація тоновъ; послѣ этого уже открываютъ одну изъ наибольшихъ задвижекъ ящика, при чемъ всѣ трубки вдуваются разомъ. Воспроизводимые такимъ образомъ звучащіе толчки, обнаруживаютъ гораздо лучше

характеръ гласныхъ, чѣмъ звукъ продолжительно выдерживаемый. Самое лучшее, если издаютъ основной тонъ и выдающіеся верхніе тоны желаемой гласной одновременно, посредствомъ открытыхъ и закрытыхъ трубокъ и открываютъ для ближайшихъ сосѣднихъ тоновъ только слабо звучащія закрытыя трубки такъ, чтобы сильный тонъ слишкомъ не выдѣлялся. Подражаніе гласнымъ такимъ аппаратомъ не очень совершенно уже потому, что нельзя такъ утонченно измѣнять силы тоновъ различныхъ трубокъ, какъ силы тоновъ камертоновъ и въ особенности потому, что высокіе тоны слишкомъ крикливы. Тѣмъ не менѣе этимъ способомъ можно всё таки слагать распознаваемые звуки гласныхъ.

Теперь мы перейдемъ къ тому, чтобы подробнѣе поговорить о той роли, которую играетъ ухо при воспринятіи оттѣнка звука. Давнишнее предположеніе объ отправленіяхъ уха то, что будто оно имѣетъ способность различать какъ число колебаній звука и опредѣлять по нимъ высоту тона, такъ и форму колебаній, отъ которой будто зависитъ различіе оттѣнка. Послѣднее предположеніе основывалось только на заключеніяхъ, которыя основывались на исключеніи другихъ возможныхъ предположеній. Такъ какъ можно было доказать, что одинаковая высота двухъ тоновъ требуетъ одинаковаго числа колебаній, что сила тона зависитъ отъ силы колебаній, то оттѣнокъ долженъ былъ зависѣть отъ чего нибудь другаго, отличнаго отъ числа и силы колебаній. Оставалась только форма колебаній. Мы можемъ опредѣлить это воззрѣніе еще точнѣе. Послѣдніе описанные опыты показали, что волны весьма различной формы (напр. фиг. 31 *CD* и фиг. 12 *C* и *D*) могутъ имѣть одинаковый оттѣнокъ звука и что кромѣ волнъ простыхъ тоновъ существуетъ безконечное множество такого рода различныхъ формъ волнъ, потому что каждое измѣненіе разности фазъ, измѣняя форму, не измѣняетъ оттѣнка. И такъ, единственное необходимое условіе для тожественности двухъ оттѣнковъ заключается въ томъ, чтобы доходящія до уха колебанія воздуха имѣли бы тоже число маятникообразныхъ колебаній и тожественной силы, полагая, что разложеніе на сумму простыхъ маятникообразныхъ колебаній могло бы существовать въ дѣйствительности.

И такъ, ухо не различаетъ само собою разныя формы волнъ, какъ глазъ, который можетъ различать изображенія различныхъ формъ колебаній; оно скорѣе разлагаетъ формы волнъ по опредѣленному закону на простыя составныя части; оно ощущаетъ эти простыя составныя части въ отдѣльности въ качествѣ гармоническихъ тоновъ; при достаточно упражненномъ вниманіи оно можетъ ощущать каждый изъ нихъ въ отдѣльности; оно различаетъ въ качествѣ различ-

ныхъ оттѣнковъ только разныя сложенія изъ этихъ простыхъ ощущеній.

Въ этомъ отношеніи сравненіе глаза съ ухомъ поучительно. Если колебательное движеніе будетъ сдѣлано видимымъ глазу, напр. посредствомъ микроскопа вибрацій, то онъ въ состояніи отличать другъ отъ друга всѣ различныя формы колебаній, даже и такія, которыя немогутъ быть различаемы ухомъ. Но глазъ не въ состояніи непосредственно выполнить, какъ ухо, разложеніе колебаній на простыя. Слѣдовательно, будучи вооруженъ микроскопомъ, глазъ дѣйствительно распознаетъ форму колебанія и различаетъ всѣ различныя формы колебаній; напротивъ ухо не различаетъ всѣхъ различныхъ формъ колебаній, а только такія, которыя, будучи разложены на маятникообразныя даютъ различныя составныя части; но различая и ощущая именно эти составныя части въ отдѣльности, оно опять таки превосходитъ глазъ, который лишенъ этого преимущества.

Это разложеніе колебаній на простыя маятникообразныя составляетъ весьма поразительную особенность уха. Читатель конечно помнитъ то, что если мы назвали сложными колебаніями такія, которыя воспроизводитъ отдѣльный музыкальный инструментъ, то эта сложность существуетъ только для нашего воспринятія ухомъ или для математическаго анализа, тогда какъ въ дѣйствительности движеніе воздушныхъ частицъ не сложное, а простое, происходящее отъ одной отдѣльной причины. Если мы теперь будемъ искать для таковыхъ періодическихъ разложеній движеній на простыя аналогіи, то не найдемъ никакой другой, какъ явленія соколебанія. Въ самомъ дѣлѣ, представимъ себѣ что демпферы фортепіано подняты и заставимъ какой бы то ни было звукъ сильно дѣйствовать на резонансъ; тогда мы приведемъ въ соколебаніе рядъ струнъ, именно всѣ тѣ которыя соотвѣтствуютъ простымъ тонамъ, заключающимся въ воспроизводимомъ звукѣ. Слѣдовательно, здѣсь происходитъ чисто механическимъ путемъ подобное же разложеніе волнъ воздуха какое производится ухомъ, такъ какъ простая воздушная волна приводитъ сама по себѣ въ соколебаніе извѣстное число струнъ и соколебанія этихъ струнъ зависятъ отъ того же закона, какъ и ощущеніе ухомъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ.

Нѣкоторая разница между обоими аппаратами основывается только на томъ, что фортепіанныя струны соколеблятся также довольно легко подъ вліяніемъ верхнихъ тоновъ, потому что онѣ подраздѣляются на нѣсколько соколеблющихся частей. При нашемъ сравненіи, мы на это не будемъ обращать вниманія. Впрочемъ было бы возможно сдѣлать такой инструментъ, коего струны приходили бы въ замѣтное и сильное соколебаніе только отъ основнаго тона, имен-

но, если бы вздумали къ срединѣ ихъ привѣсить грузъ, отчего высшіе тоны струнъ сдѣлались бы негармоничными съ ихъ основнымъ тономъ.

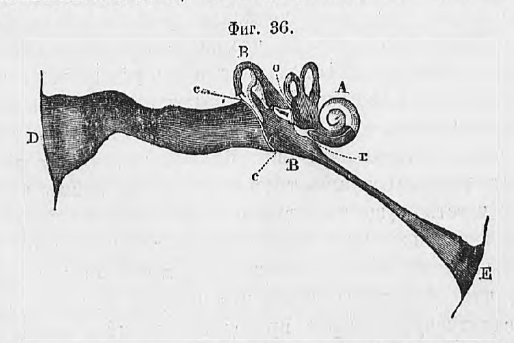
Если бы мы могли соединить каждую струну фортепіано съ нервнымъ волокномъ такъ, чтобы оно было возбуждено и ощущало каждый разъ какъ струна приводилась бы въ движеніе, то на дѣлѣ произошло бы тоже что и въ ухѣ, т. е. всякій звукъ поражающій инструментъ возбудилъ бы рядъ ощущеній, соотвѣтствующихъ въ точности маятникообразнымъ колебаніямъ на которыя слѣдовало бы разложить первоначальное движеніе воздуха; вмѣстѣ съ тѣмъ былъ бы воспринимаемъ каждый отдѣльный верхній тонъ точно также, какъ это происходитъ въ самомъ дѣлѣ въ ухѣ. При этихъ условіяхъ ощущенія различно высокихъ тоновъ приходились бы на долю различныхъ нервныхъ волоконъ и поэтому дѣйствовали бы совершенно отдѣльно и независимо другъ отъ друга.

Въ самомъ дѣлѣ, новѣйшія открытія микроскопа касательно внутренняго строенія уха допускаютъ предположенія, что въ ухѣ имѣются подобныя же строенія какъ тѣ, которыя мы только что описали. Именно, конецъ каждаго нервнаго волокна слуховаго нерва соединенъ съ маленькими упругими частями, которыя, какъ мы должны предположить, приводятся въ соколебаніе звуковыми волнами.

Строеніе уха можетъ быть вкратцѣ описано слѣдующимъ образомъ нѣжные концы нервныхъ волоконъ слуховаго нерва распространяются на тонкихъ перепонкахъ въ наполненной жидкостью полости, которая вслѣдствіе своей сложной формы называется лабиринтомъ.

Для того, чтобы передавать колебанія воздуха достаточно сильно жидкости лабиринта, служитъ для этого вторая часть уха, именно тимпанальная полость, съ лежащими въ ней частями. Фиг. 36

Фиг. 36.



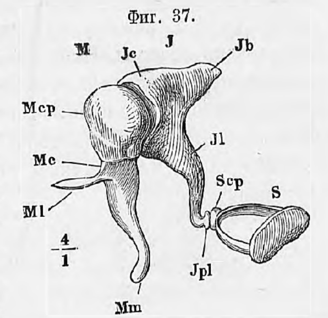
показываетъ въ натуральной величинѣ схематическій разрѣзъ принадлежащихъ къ слуховому проходу полостей. *A*-лабиринтъ, *BB*-тим-

панальная полость; *D*-воронкообразный входъ въ наружный слуховый проходъ, который наиболѣе съуженъ въ срединѣ, а ко внутреннему концу опять немного расширяется. Внутренній конецъ наружнаго слуховаго прохода, образованный частью изъ костяной трубки, отдѣленъ отъ тимпанальной полости *B* продолговато-круглою тонкою барабанною или тимпанальною перепонкою *cc*, которая довольно слабо напряжена на костяномъ кольцѣ. Тимпанальная полость *B* лежитъ между наружнымъ слуховымъ проходомъ и лабиринтомъ. Отъ послѣдняго, она отдѣлена костяными стѣнками въ которыхъ остаются только два отверстія замкнутыя перепонками, два такъ называемыхъ окошечка, изъ коихъ верхнее или овальное окошечко (fenestra ovalis) *o* (фиг. 36) соединено съ одною изъ слуховыхъ косточекъ, именно со стременемъ. Нижнее или круглое окошечко *r* не соединяется съ слуховыми косточками.

Слѣдовательно тимпанальная полость совершенно закрыта, какъ со стороны наружнаго слуховаго прохода, такъ и лабиринта; напротивъ, она имѣетъ свободное сообщеніе съ верхнею частью полости зѣва посредствомъ Евстахіевой трубы, названной такъ потому, что ея отверстіе, обращенное къ зѣву, расширено въ видѣ конца трубы, тогда какъ ея средина весьма узка. Конецъ Евстахіевой трубы, переходящій въ тимпанальную полость образованъ изъ костей; напротивъ, обращенный къ зѣву, расширенный конецъ, состоитъ изъ тонкой упругой хрящевой пластинки, которая разщеплена вдоль верхней стороны. Края щели закрыты сухожильною перепонкою. Въ тимпанальную полость можно чрезъ Евстахіеву трубу впускать воздухъ или вытягвать его оттуда, если закрывъ носъ и ротъ, будемъ сгущать во рту воздухъ, или же посредствомъ всасыванія будемъ его разрѣжать. Какъ только воздухъ входитъ или выходитъ изъ тимпанальной полости, чувствуется внезапный толчекъ въ ухѣ и слышится трескъ. При этомъ замѣтятъ, что воздухъ въ такія только мгновенія переходитъ изъ зѣва въ ухо, или изъ уха въ зѣвъ, когда дѣлаютъ глотательное движеніе. Если воздухъ проникнулъ въ ухо, то онъ тамъ и остается, если даже снова открыть носъ и ротъ, пока не сдѣлать снова глотательнаго движенія. При этомъ движеніи онъ выходитъ, что узнается новымъ трескомъ, а равно и тѣмъ, что съ нимъ исчезаетъ чувство существовавшаго до того времени напряженія барабанной перепонки. Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что Евстахіева труба, обыкновенно совершенно закрыта, а открывается только при глотаніи, что объясняется тѣмъ, что мускулы, которые подымаютъ нёбную занавѣску и которые приводятся въ дѣятельное состояніе при глотаніи начинаются частью отъ хрящеваго конца Евстахіевой трубы. Слѣдовательно, наполненная воздухомъ тимпанальная полость

обыкновенно совершенно закрыта и давленіе этого воздуха остается равнымъ давленію атмосфернаго воздуха, потому что отъ времени до времени оно имѣетъ случай уравняться съ послѣднимъ во время глотанія.

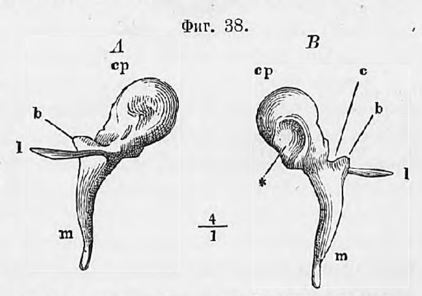
Фиг. 37.



Слуховыя косточки во взаимной связи между собою съ передней и съ правой половины головы, которая повернута около вертикальной оси немного вправо. *M* молоточекъ. *J* наковальня. *S* стремя. *Mcp* головка. *Mc* шейка. *Ml* длинный отростокъ. *Mm* рукоятка молоточка. *Jc* тѣло наковальни. *Jb* короткая ножка. *Jl* длинная ножка. *Jpl* чечевицеобразная косточка наковальни. *Scp* capitulum стремени.

Воздухъ тимпанальной полости въ двухъ мѣстахъ отдѣленъ отъ жидкости лабиринта также только посредствомъ тонкихъ напряженныхъ перепонокъ. Эти перепонки закрываютъ упомянутыя уже отверстія, именно овальное (фиг. 36) *o* и круглое окошечко *r* лабиринта. Обѣ перепонки находятся въ соприкосновеніи наружною стороною съ воздухомъ тимпанальной полости, а внутренною съ жидкостью лабиринта; перепонка круглаго окошечка совершенно свободна; напротивъ, перепонка овальнаго окошечка соединена съ барабанною перепонкою посредствомъ ряда изъ 3-хъ, соединенныхъ сочлененіями, слуховыхъ косточекъ. Фиг. 37 показываетъ эти три косточки въ ихъ натуральномъ соединеніи между собою, но въ четырехкратномъ увеличеніи по линейному измѣренію. Онѣ суть: *M*-молоточекъ (malleus), *J*-наковальня (incus) и *S*-стремя (stapes). Молоточекъ находится въ связи съ барабанною перепонкою, а послѣдняя косточка, стремя, съ перепонкою овальнаго окошечка. Молоточекъ представленъ отдѣльно на фиг. 38. На ней показанъ верхній утолщенный закругленный конецъ, называемый головкою *cp* и нижній тонкій, называемый стебелькомъ или рукояткою *m*; между ними находится перехватъ *c*, называемый шейкою молоточка. На сторонѣ головки, обращенной кзади, находятъ поверхность сочлененія посредствомъ которой она прикладывается къ наковальнѣ. Ниже шейки, именно тамъ гдѣ она переходитъ въ ру-

Фиг. 38.

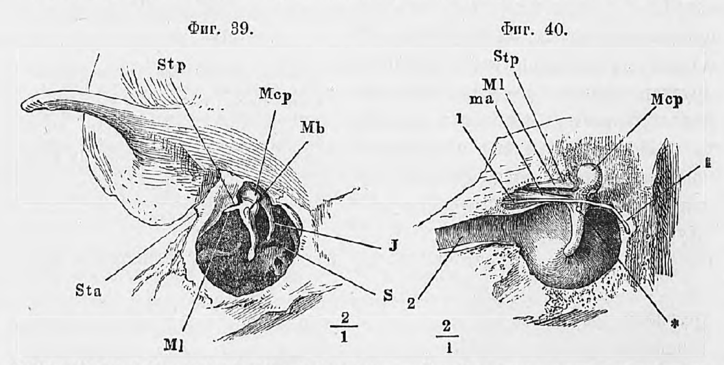


Правый молоточекъ. *A* снаружи. *B* извнутри. *cp* головка. *c* шейка. *b* короткій, *l* длинный отростокъ. *m* рукоятка. * поверхность сочлененія.

коятку, выдаются два отростка длинный: *l* (processus folianus) и короткій отростокъ *b*. Первый бываетъ настолько длиннымъ, какъ показано на рисункахъ, только у дѣтей; у взрослыхъ онъ большею частью укороченъ въ видѣ тупаго отростка. Онъ имѣетъ направленіе кпереди и лежитъ закрытый связками, которыя прикрѣпляютъ молоточекъ спереди. Напротивъ, короткій отростокъ *b* обращенъ къ барабанной перепонкѣ, верхнюю часть которой онъ нѣсколько вытѣсняетъ кпереди. Отъ конца этого отростка *b* до конца рукоятки *m* молоточекъ крѣпко укрѣпленъ въ верхней части барабанной перепонки, именно такъ, что кончикъ стебелька сильно тянетъ барабанную перепонку квнутри.

Фиг. 39 и 40 покакываютъ молоточекъ въ его естественномъ положеніи; первая (фиг. 39) показываетъ его снаружи по снятіи бара-

Фиг. 39. Фиг. 40.



Лѣвая височная кость новорожденнаго съ слуховыми косточками снаружи. *Sta* передняя барабанная ость (spina tympanica ant.) *Stp* задняя барабанная ость (spina tympanica post.) *Mcp* головка молоточка. *Mb* короткій отростокъ молоточка. *Ml* длинный отростокъ молоточка. *J* наковальня. *S* стремя.

Правая тимпанальная перепонка съ молоточкомъ извнутри. Внутренній листикъ молоточковой складки слизистой оболочки снятъ. *Stp* spina tympanica post. *Mcp* головка молоточка. *Ml* длинный его отростокъ. *ma* передняя связка молоточка. 1. Барабанная струна 2. Евстахіева труба. *Сухожиліе напрягающей мышцы барабана поперегъ перерѣзаннаго близъ мѣста ея прикрѣпленія.

банной перепонки; послѣдняя,—извнутри. Молоточекъ прикрѣпленъ вдоль верхняго края барабанной перепонки посредствомъ складки слизистой оболочки, внутри которой находится рядъ довольно крѣпкихъ пучковъ сухожильныхъ волоконъ. Эти прикрѣпляющія связки начинаются на молоточкѣ въ одной линіи, направляющейся отъ длиннаго отростка *l* (фиг. 38) выше перехвата шейки къ нижнему концу сочлененной съ наковальнею поверхности, которая у старыхъ людей развита въ рѣзко выдающуюся костную пластинку. Эти связки всего крѣпче и туже на переднемъ и заднемъ концѣ этой линіи прикрѣпленія.

Передняя связка (ligamentum mallei anterius) обертываетъ длинный отростокъ молоточка и прикрѣпляется частью къ костяному отростку костянаго барабаннаго кольца (*Stp.* фиг. 39 и 40), выдающагося почти до самой шейки молоточка, частью къ его нижнему краю, частью же она опускается въ костяную щель, идущую отсюда къ суставу челюсти. Напротивъ, задняя часть описанной связки держится на остроокаймленной костяной пластинкѣ, выдающейся во внутрь отъ барабанной перепонки, параллельно этой послѣдней, нѣсколько выше отверстія кости, въ которое входитъ проходящій здѣсь нервъ,—барабанная струна (1, фиг. 40). Эти послѣдніе ряды волоконъ мы можемъ обозначить именемъ задней связки (ligamentun mallei posterius). На фиг. 39 мѣсто прикрѣпленія этой связки представляется какъ маленькое утолщеніе кольца прикрѣпленія барабанной перепонки и ограничивается справа у *Stp* начинающеюся слѣва верхнею бороздою отверстія барабанной перепонки. какъ разъ на томъ мѣстѣ, гдѣ на рисункѣ видна длинная ножка наковальни *J*. Передняя и задняя связки (ligamentum anterius и posterius) будучи взяты вмѣстѣ составляютъ умѣренно напряженную сухожильную связку, около которой молоточекъ можетъ вращаться, какъ около оси, и если мы осторожно удалимъ остальныя двѣ слуховыя косточки, не трогая выше описанныхъ связокъ молоточка, то молоточекъ все-таки останется въ своемъ естественномъ, хотя и менѣе напряженномъ положеніи, чѣмъ до удаленія двухъ косточекъ.

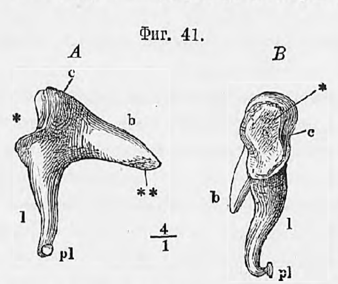
Среднія волокна, названной широкой прикрѣпляющей связки молоточка, идутъ прямо внаружу къ верхнему костяному краю барабанной перепонки. Они относительно коротки и могутъ быть довольно правильно названы именемъ наружной связки молоточка (ligamentum mallei externum). Такъ какъ они начинаются выше осевой линіи молоточка, то задерживаютъ слишкомъ сильное поворачиваніе головки квнутри и кнаружи рукоятки съ барабанною перепонкою, и препятствуютъ дерганію осевой связки внизъ. Первое дѣйствіе еще усиливается посредствомъ верхней связки (ligamentum mallei superius), которая тянется отъ длиннаго отростка вверхъ въ узкую щель, которая, какъ это показываетъ фиг. 40, остается между головкою молоточка и стѣнкою тимпанальной полости.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что въ верхней части канала Евстахіевой трубы лежитъ мускулъ, напрягающій мускулъ барабанной перепонки, коего сухожиліе, проходящее поперекъ черезъ тимпанальную полость, прикрѣпляется внутри къ верхней части рукоятки молоточка (фиг. 40 *) Этотъ мускулъ слѣдуетъ разсматривать какъ слабо напряженную упругую связку, степень напряженія которой иногда можетъ быть значительно увеличена дѣятельнымъ сокращеніемъ.

Этотъ мускулъ дѣйствуетъ главнымъ образомъ на рукоятку молоточка, напрягая его вмѣстѣ съ барабанною перепонкою квнутри. Но такъ какъ его мѣсто прикрѣпленія лежитъ весьма близко подъ осевою связкою, то главная часть его напряженія дѣйствуетъ на эту послѣднюю, напрягаетъ и тянетъ ее немного во внутрь. При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что въ прямолинейномъ, слабонатянутомъ нерастяжимомъ сплетеніи, какова осевая связка молоточка, уже весьма ограниченная сила, которая стремится его тянуть въ сторону, можетъ воспроизвести весьма ощутительную степень увеличенія напряженія. Это и происходитъ при упомянутомъ расположеніи напрягающаго мускула. При томъ не слѣдуетъ забывать, что и покоющіеся, не возбужденные мускулы живаго организма постоянно упруго натянуты и дѣйствуютъ какъ упругія связки. Это напряженіе конечно можетъ быть увеличено значительнымъ образомъ посредствомъ иннерваціи, приводящей мускулъ въ дѣятельное состояніе, но въ большинствѣ мускуловъ напряженіе это не существуетъ.

Наковальня, изображенная отдѣльно на фиг. 41, имѣетъ примѣрно видъ коренного зуба съ двумя корнями, коего вѣнчикъ образуетъ суставную поверхность къ сторонѣ молоточка. Изъ двухъ далеко другъ отъ друга раздвинутыхъ корней, верхній, который направленъ кзади, называется короткою ножкою *b*, другой тонкій, направленный книзу, называется длинною ножкою наковальни. Послѣдняя имѣетъ на своей оконечности суставную головку для стремени. Напротивъ, конецъ короткой ножки, посредствомъ короткой связки и посредствомъ невполнѣ развитаго сустава на ея нижней поверхности, соединенъ съ заднею стѣнкою тимпанальной полости въ томъ мѣстѣ, гдѣ она переходитъ кзади въ наполненныя воздухомъ клѣточки сосцевиднаго отростка, лежащаго за ухомъ.

Фиг. 41.



Правая наковальня. *A* средняя (Mediale) поверхность. *B* Видъ спереди. *C* тѣло наковальни. *b* короткая ножка, *l* длинная ножка. *p l* чечевицеобразный отростокъ *proc. lenticularis*. *Суставчатая поверхность, сообщающаяся съ головкою молоточка. **Поверхность соприкасающаяся со стѣнкою барабанной полости.

Суставъ между наковальнею и молоточкомъ представляетъ довольно вообще неправильную сѣдлообразно-искривленную поверхность. По дѣйствію его можно сравнить съ члениками весьма распространенныхъ съ задерживающими зубчиками часовыхъ ключиковъ, которые можно свободно вертѣть въ одномъ направленіи безъ особаго сопротивленія, но которые недопускаютъ самаго ничтожнаго вращенія въ обратномъ направленіи, когда задерживащіе его зубчики упираются другъ на друга. Такіе задерживающіе зубчики имѣетъ суставъ, соединяющій молоточекъ съ наковальнею, а именно на нижней своей сторонѣ, и при этомъ зубецъ, принадлежащій молоточку, лежитъ кнаружи; обращенный къ барабанной перепонкѣ, а принадлежащій наковальнѣ,—квнутри, тогда какъ обратно, ближе къ верхнему концу выемки сустава, наковальня захватываетъ больше кнаружи, а молоточекъ квнутри.

Слѣдствіемъ этой конструкціи является то, что когда молоточекъ своею рукояткою будетъ направленъ квнутри, то онъ совершенно крѣпко захватываетъ и тянетъ за собою наковальню. Наоборотъ, когда барабанная перепонка съ молоточкомъ направляются кнаружи, то наковальня не должна за ними слѣдовать. Задерживающіе зубчики суставныхъ поверхностей тогда отклоняются другъ отъ друга и скользятъ съ весьма незначительнымъ треніемъ. Въ этомъ заключается то большое преимущество, что стремя не можетъ быть вырвано изъ овальнаго окошечка, когда воздухъ въ слуховомъ проходѣ значительно разрѣжается. Впячиваніе молоточка, могущее произойти отъ сгущенія воздуха въ слуховомъ проходѣ, также безопасно, потому что оно сильно сдерживается напряженіемъ воронкообразно втянутой тимпанальной перепонки.

Если при глотаніи воздухъ вдувается въ тимпанальную полость, то соприкосновеніе молоточка съ наковальнею ослабляется. Тогда слабые тоны средней и высшей части скалы слышатъ незамѣтно слабѣе обыкновеннаго, но замѣчаютъ весьма значительное заглушеніе сильныхъ тоновъ. Это могло бы быть объяснено тѣмъ, что соприкосновеніе суставчатыхъ поверхностей между собою, достаточно для передачи слабаго движенія отъ одной косточки къ другой, тогда какъ при болѣе сильныхъ сотрясеніяхъ, онѣ, скользя одна о другую, могутъ перемѣщаться и отъ этого не передаютъ уже такихъ сотрясеній неослабленными.

Низкіе тоны заглушаются при всякой силѣ, вѣроятно потому, что они всегда требуютъ, чтобы сдѣлаться слышимыми, *) болѣе размашистыхъ движеній.

О другомъ важномъ вліяніи, которое имѣетъ конструкція сустава между молоточкомъ и наковальнею на воспринятіе тоновъ, я поговорю ниже въ статьѣ о комбинаціонныхъ тонахъ.

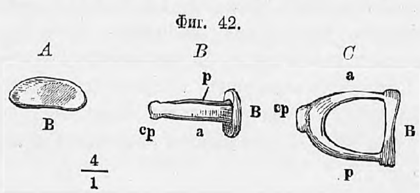
Такъ какъ прикрѣпленіе верхушки короткаго бедра стремени лежитъ замѣтно квнутри и выше осевой связки молоточка, то головка молоточка удаляется отъ сочлененія тѣла наковальни съ барабаномъ въ

*) Смотри объ этомъ ниже часть II, глава 9.

томъ случаѣ, когда первая (головка) направляется кнаружи, а рукоятка молоточка съ барабанною перепонкою вгоняются кнутри. Изъ этого слѣдуетъ, что значительно расширяются тѣ связки, которыя скрѣпляютъ наковальню съ молоточкомъ и верхушкою короткаго его отростка и что верхушка эта немного приподнимается съ ея костяной подставки. Поэтому, при такомъ нормальномъ положеніи косточекъ, наковальня въ процессѣ слуха не имѣетъ никакого другаго соприкосновенія съ прочими слуховыми косточками, кромѣ молоточка, но тогда обѣ косточки удерживаются въ своемъ положеніи только связками и притомъ довольно сильно, такъ что только вращеніе около осевой связки молоточка остается относительно безпрепятственнымъ.

Третья слуховая косточка стремя, изображенная отдѣльно на фиг. 42, имѣетъ дѣйствительно поразительное сходство съ предметомъ, отъ котораго она получила свое названіе. Ступня *B* прикрѣплена къ перепонкѣ овальнаго окошечка, которую она, за исключеніемъ узкой полоски, почти совершенно покрываетъ. Головка *cp* имѣетъ суставную ямку для чечевицеобразнаго отростка (processus lenticularis) длинной ножки наковальни. Суставъ окруженъ слабонапряженною перепонкою. При нормально втянутой кнутри барабанной перепонкѣ, наковальня давитъ на стремя, такъ что не нужно болѣе крѣпкаго скрѣпленія связокъ сустава. Всякое усиленное вдавливаніе молоточка со стороны барабанной перепонки производитъ также болѣе сильное вдавливаніе стремени въ овальное окошечко, при чемъ однако верхній, немного болѣе свободный край ступни отодвигается сильнѣе, чѣмъ нижній, и головка вслѣдствіе этого нѣсколько подымается; а этому движенію опять таки отвѣчаетъ слабое поднятіе верхушки длинной ножки наковальни, а именно такое, какое обусловливается положеніемъ этой послѣдней кнутри и книзу отъ осевой связки молоточка.

Фиг. 42.



Правое стремя; *A* извнутри, *B* спереди, *C* снизу. *B* ступня (basis), *c p* головка (capitulum), *a p* передняя и задняя ножки.

Перемѣщенія ступни стремени весьма малы и во всякомъ случаѣ не превосходятъ по моимъ наблюденіямъ $^1/_{10}$ миллиметра *) Напротивъ свободное перемѣщеніе молоточка рукояткою кнаружи, какое

*) Helmholtz, die Mechanik der Gehörknöchelchen in Pflueger's Archiv für Physiologie, Bd. I стр. 34 до 43. Эта статья вообще старается изслѣдовать данное здѣсь изложеніе механизма уха.

онъ можетъ дѣлать, передвигаясь къ наковальнѣ въ своемъ суставѣ, по крайней мѣрѣ въ девять разъ больше противъ того, которое онъ можетъ совершить вмѣстѣ съ наковальнею и стременемъ.

Весь аппаратъ тимпанальной полости имѣетъ ту механическую выгоду, что звуковое движеніе воспринимается относительно растянутою поверхностью барабанной перепонки (вертикальная ось которой отъ 9 до 10 миллиметровъ, а горизонтальная отъ 7,5 до 9 миллиметровъ) и передается косточками на относительно гораздо меньшую поверхность овальнаго окошечка или ступни стремени, коего оси имѣютъ только 1,5 и 3 миллиметра. И такъ, поверхность барабанной перепонки отъ 15 до 20 разъ больше поверхности овальнаго окошечка.

При этой передачѣ колебаній воздуха на жидкость лабиринта слѣдуетъ замѣтить, что частицы воздуха представляютъ относительно большія амплитуды ихъ колебаній, но не имѣютъ большаго недѣятельнаго момента, вслѣдствіе ихъ незначительной плотности, и поэтому, если онѣ въ своемъ движеніи задерживаются барабанною перепонкою, то не окажутъ никакаго значительнаго сопротивленія этому задерживанію и никакого значительнаго давленія на задерживающую барабанную перепонку. Напротивъ, жидкость лабиринта гораздо плотнѣе и тяжелѣе воздуха слуховаго прохода и вслѣдствіе этого для того, чтобы ее быстро передвигать прямо и обратно, нужны болѣе значительныя силы давленія, чѣмъ для воздуха слуховаго прохода при колебательномъ движеніи звуковыхъ волнъ. Но съ другой стороны и амплитуды колебаній, которымъ подвергается жидкость лабиринта, относительно весьма малы, но здѣсь достаточны чрезвычайно малыя колебанія, чтобы двигать прямо и обратно лежащіе отчасти на предѣлахъ микроскопическаго видѣнія конечныя образованія и развѣтвленія нервовъ такъ, чтобы возбуждалось ощущеніе.

Слѣдовательно механическая задача аппарата тимпанальной полости заключается въ томъ, чтобы превратить движеніе большой амплитуды и незначительной силы, встрѣчающее барабанную перепонку, въ движеніе незначительной амплитуды и большой силы, которое должно быть передано жидкости лабиринта.

Эта такая задача, которая разрѣшается посредствомъ разнообразныхъ механическихъ аппаратовъ, какъ-то: рычагами, системою блоковъ, кранами и т. п. Способъ же, какимъ образомъ это происходитъ въ аппаратѣ тимпанальной полости, совершенно иной и весьма своеобразенъ. Хотя здѣсь дѣйствіе рычага и существуетъ, но только не въ значительной степени.

Въ самомъ дѣлѣ конецъ рукоятки молоточка, на который прежде всего дѣйствуетъ напряженіе барабанной перепонки удаленъ почти

въ полтора раза болѣе отъ оси вращенія, чѣмъ кончикъ наковальни, который нажимаетъ на стремя, какъ между прочимъ это уясняетъ фиг. 39. Слѣдовательно рукоятка молоточка составляетъ длиннѣйшее плечо рычага и давленіе на стремя будетъ въ полтора раза болѣе, чѣмъ сила, которая вгоняетъ кончикъ рукоятки молоточка.

Но главное усиленіе обусловливается формою барабанной перепонки. Я уже упомянулъ, что средина ея или пупокъ втягивается рукояткою молоточка въ видѣ воронки квнутри. Проведенныя же отъ пупка къ краю меридіональныя линіи этой воронки расположены не совершенно прямо, но слабо выпуклы кнаружи. Уменьшенное давленіе воздуха въ слуховомъ проходѣ увеличиваетъ эту выпуклость, а увеличенное давленіе ее уменьшаетъ. Напряженіе, происходящее въ нерастяжимой нити, имѣющей форму дуги весьма малаго изгиба, отъ того что слабая сила дѣйствуетъ перпендикулярно ея выпуклости,—весьма значительно. Извѣстно, что надо употребить значительную силу, чтобы вытянуть длинную тонкую веревку горизонтально, или хотя бы сколько нибудь прямолинейно, т. е. силу, которая гораздо больше тяжести веревки, которая тянетъ ее по прямой линіи книзу. Радіальнымъ волокнамъ барабанной перепонки препятствуетъ вытягиваться не тяжесть, а частью давленіе воздуха частью же упругое натяженіе, которое производятъ кольцеобразныя волокна перепонки. Эти волокна стремятся стянуться по направленію къ оси воронкообразной перепонки и этимъ производятъ вгибаніе радіальныхъ, идущихъ къ этой оси волоконъ. Во время Звуковыхъ колебаній наружнаго воздуха, вслѣдствіе его мѣняющаго давленія это натяженіе кольцеобразныхъ волоконъ то усиливается, то ослабляется, что дѣйствуетъ на среднее мѣсто прикрѣпленія радіальныхъ волоконъ къ рукояткѣ молоточка, такъ какъ будто-бы мы могли попеременно усиливать и уменьшать тяжесть горизонтально натянутой нити, что воспроизвело бы пропорціанальное усиленіе и ослабленіе натяженія, которое производится нитью на держащую ее руку.

Далѣе слѣдуетъ замѣтить, что при такой горизонтально натянутой нити, чрезвычайно незначительное ослабленіе руки имѣетъ слѣдствіемъ уже значительное опусканіе средины нити. Дѣло въ томъ, что ослабленіе руки происходитъ въ направленіи хорды дуги, а поверхностное геометрическое разсужденіе насъ научаетъ, что хорды дугъ одинаковой длины и различныхъ длинъ дугъ, но постоянно весьма незначительной кривизны, какъ между собою, такъ и отъ длины дуги отличаются чрезвычайно мало. *) Это также точно относится и

*) Они отличаются на величину, которая пропорціональна квадрату глу-

къ барабанной перепонкѣ. Рукояткѣ молоточка достаточно поддаться весьма немного, чтобы произошло значительное измѣненіе въ степени вогнутости барабанной перепонки. Слѣдствіемъ этого будетъ то, что при Звуковыхъ колебаніяхъ части барабанной перепонки, лежащія въ срединѣ между внутреннимъ мѣстомъ прикрѣпленія перепонки къ молоточку и внѣшнимъ мѣстомъ прикрѣпленія къ кольцу барабанной перепонки, могутъ слѣдовать довольно размашисто за колебаніями воздуха, тогда какъ ихъ движеніе передается на рукоятку молоточка съ весьма уменьшенною амплитудою, но съ чрезвычайно увеличенною силою. При переходѣ движенія отъ рукоятки молоточка на стремя происходитъ еще дальнѣйшее, болѣе умѣренное уменьшеніе размаха колебаній съ соотвѣтствующимъ увеличеніемъ силы посредствомъ вышеупомянутаго дѣйствія рычага.

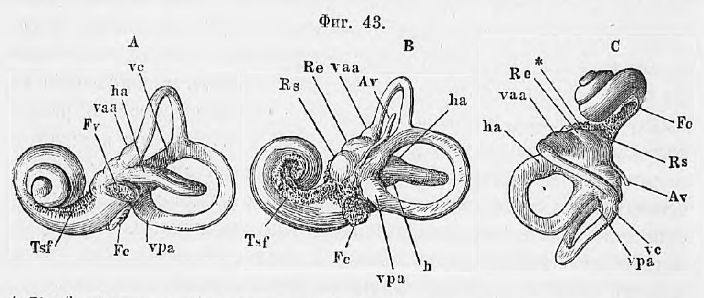
Теперь мы переходимъ къ описанію внутренней части слуховаго органа, которая носитъ названіе лабиринта. Его изображеніе представлено съ разныхъ сторонъ на фиг. 43. Среднюю его часть, въ которой находится овальное окошечко *Fv* (fenestra vestibuli) обнимающее ступню стремени, называютъ преддверіемъ (vestibulum) лабиринта. Отъ него исходитъ кпереди и книзу свернутый каналъ, улитка (cochlea) въ началѣ которой лежитъ, обращенное къ тимпанальной полости, круглое окошечко *Fc* (fenestra cochleae). Напротивъ, кверху и кзади отъ преддверія идутъ три полукружныхъ канала: горизонтальный, вертикальный передній и вертикальный задній полукружные каналы, изъ коихъ каждый сообщается обоими концами съ преддверіемъ, при чемъ каждый на одномъ изъ концовъ образуетъ колбовидное расширеніе колбу или ампулу (*ha*, *vaa*, *vpa*).—Представленный еще на фигурѣ водопроводъ преддверія (aquaeductus vestibuli) служитъ ходомъ вены; шероховатые мѣста *Tsf* и * соотвѣтствуютъ на рисункѣ каналамъ, которые пропускаютъ нервы.

Вся эта полость лабиринта наполнена жидкостью и окружена чрезвычайно твердою и толстою костяною массою каменистой части височной кости, такъ что въ стѣнкѣ остается только два поддающіеся мѣста, именно оба окошечка *Fv* и *Fc* (овальное и круглое). Въ первомъ находится, какъ уже было описано, ступня стремени, прикрѣпленная узкою перепончатою каймою; послѣднее закрыто перепонкою. Если стремя будетъ вдавлено въ овальное окошечко, то вся перилимфа (жидкость лабиринта) будетъ тѣснима къ круглому окошечку и только здѣсь его перепонка можетъ поддаваться. Если вста-

бины кривизны. Если мы назовемъ длину дуги чрезъ l, а удаленіе ея средины отъ хорды чрезъ s, то хорда короче дуги на величину $^8/_3\frac{s^2}{l}$.

вить, какъ это сдѣлалъ Полицеръ (Politzer), въ круглое окошечко, впрочемъ при неповрежденномъ лабиринтѣ, тонко вытянутую стеклян-

Фиг. 43.



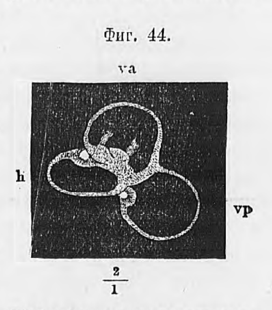
A. Лѣвый лабиринтъ съ наружной стороны. *B*. Правый лабиринтъ съ внутренней стороны. *C* лѣвый лабиринтъ сверху. *F c*. Круглое окошко (fenestra cochleae) *F v* овальное окошечко (fenestra vestibuli). *R e* эллиптическая ямочка (recessus ellipticus). *R s* сферическая ямочка (recessus sphaericus). *h* горизонтальный полукружный каналъ. *h a* его .ампула *v a a* ампула передняго вертикальнаго полукружнаго канала *v p a* ампулы задняго вертикальнаго полукружнаго канала. *v c* общій стволъ или бедро обоихъ полукружныхъ каналовъ. *A v* изображеніе водопровода преддверія (aquaeductus vestibuli) *T s f* Tractus spiralis foraminosus. *Изображеніе каналовъ сообщающихся съ пирамидой преддверія.

ю трубочку въ видѣ манометра, то жидкость гонится въ этомъ послѣднемъ вверхъ, какъ только заставляютъ дѣйствовать болѣе сильное давленіе воздуха на внѣшнюю сторону барабанной перепонки и вгоняютъ чрезъ это стремя въ овальное окошечко. Окончанія слуховаго нерва находятся на тонкихъ перепончатыхъ образованіяхъ, находящихся частью плавающими, частью напряженными въ полости костянаго лабиринта; эти образованія составляютъ вмѣстѣ перепончатый лабиринтъ. Этотъ лабиринтъ есть вообще слѣпокъ фигуры костянаго лабиринта, только онъ представляетъ болѣе ограниченную ширину каналовъ и полостей, и его внутренность распадается на двѣ отдѣльныя части, именно съ одной стороны на мѣшечекъ utriculus съ перепончатыми полукружными каналами, и съ другой стороны на мѣшечекъ sacculus съ перепончатымъ каналомъ улитки. Оба мѣшечка utriculus и sacculus лежатъ въ предверіи костянаго лабиринта, первый противъ эллиптической ямочки (recessus ellipticus *Re* фиг. 43), послѣдній противъ сферической (*Rs*). Это плавающіе,—сами наполненные жидкостью (эндолимфою) мѣшечки, которые прилегаютъ къ стѣнкѣ только съ одной стороны, гдѣ къ нимъ подходятъ нервныя волокна.

Форма utriculus съ перепончатыми полукружными каналами изображена на фиг. 44. Ампулы на перепончатыхъ полукружныхъ каналахъ гораздо болѣе выдаются, чѣмъ на костяныхъ. Перепончатые полукружные каналы, по новѣйшимъ изслѣдованіямъ Рюдингера (Rüdinger), сами не плаваютъ въ костяныхъ каналахъ, но прикрѣплены къ выпуклой сторонѣ костянаго канала. На каждой ампулѣ находится

утолщенный квнутри выступъ, въ который входятъ волокна слуховаго нерва, въ utriculus же этому выступу соотвѣтствуетъ плоско утолщенное мѣсто. Особый родъ окончанія здѣсь нервовъ будетъ описанъ ниже. Внутри utriculus находится связанный между собою слизистою массою и съ утолщеннымъ богатымъ нервами мѣстомъ мѣшечка ушной песокъ, состоящій изъ маленькихъ известковыхъ кристалловъ.

Фиг. 44.



Utriculus и перепончатые полукружные каналы съ наружной лѣвой стороны. *v a* передній. *v p* задній вертикальный полукружный каналъ. *h* горизонтальный полукружный каналъ.

Возлѣ utriculus лежитъ прикрѣпляющійся къ нему, но не сообщающійся съ нимъ въ полости костянаго преддверія мѣшечекъ sacculus, снабженный на своей стѣнкѣ подобнымъ же утолщеннымъ богатымъ нервами мѣстомъ. Посредствомъ узкаго канала онъ находится въ сообщеніи съ каналомъ перепончатой улитки.

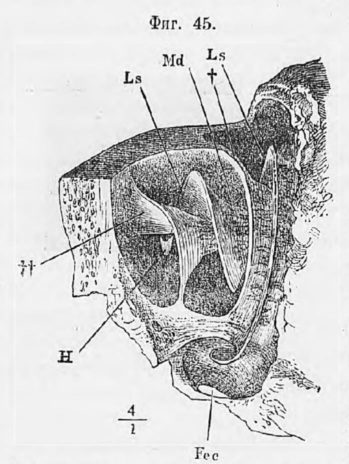
Что касается до полости улитки, то она, какъ показываетъ фиг. 43, совершенно схожа съ строеніемъ обыкновенной улитки; только каналъ улитки раздѣленъ идущею поперегъ частью костяною, частью перепончатою перегородкою на два почти совершенно отдѣльныхъ другъ отъ друга хода. Только на осевомъ концѣ остается маленькое соединительное отверстіе между обоими ходами, отверстіе улитки (helicotrema), ограниченное крючковиднымъ концомъ, именно крючкомъ (hamulus). Изъ обоихъ ходовъ, на которые раздѣляется каналъ костяной улитки одинъ прямо сообщается съ предверіемъ и поэтому называется лѣстницею преддверія (scala vestibuli); другой же ходъ напротивъ отдѣленъ отъ преддверія перепончатою перегородкою; въ началѣ этого хода близь основанія улитки, лежитъ круглое окошечко, посредствомъ котораго она можетъ обмѣниваться сотрясеніями съ воздухомъ барабанной полости поддающеюся перепонкою. Поэтому этотъ второй ходъ называется лѣстницею барабана (scala tympani).

Наконецъ далѣе слѣдуетъ замѣтить, что перепончатая перегородка не есть простая перепонка, а представляетъ сама перепончатый каналъ (протокъ улитки—ductus cochlearis), который внутреннимъ своимъ краемъ, обращеннымъ къ оси улитки, прикрѣпленъ къ началу костяною перегородки улитки (lamina spiralis), а противуположною внѣшнею поверхностью прикрѣпленъ напротивъ частью къ внутренней поверхности костянаго хода.

Фиг. 45 представляетъ костяныя части вскрытой улитки, фиг. 46 поперечный разрѣзъ канала, оставшійся не въ полномъ видѣ влѣво и книзу. *Ls* обозначаетъ въ обѣихъ фицурахъ костяную часть пе-

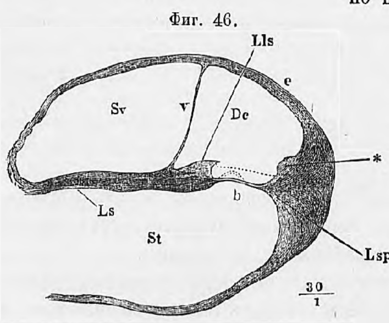
регородки; на фиг. 46 *v* и *b* суть обѣ свободныя части перепончатаго канала. Поперечный разрѣзъ этого канала, какъ показываетъ фигура, близокъ къ треугольнику, при чемъ одинъ изъ его угловъ прикрѣпленъ при *Lls* къ краю костяной перегородки. Начало протока улитки (ductus cochlearis), какъ уже было сказано, сообщается у основанія улитки съ sacculus въ преддверіи лабиринта посредствомъ узкаго перепончатаго канала. Изъ обѣихъ свободныхъ полосокъ его перепончатаго предѣла, полоска, обращенная къ лѣстницѣ преддверія, составляетъ нѣжную, представляющую малое сопротивленіе перепонку, такъ называемую перепонку Рейсснера (membrana vestibularis) фиг. 46 *v*; напротивъ, другая, membrana basilaris есть крѣпкая, туго напряженная упругая перепонка, которая исполосована по направленію радіусовъ, соотвѣтственно ея крѣпкимъ радіальнымъ волокнамъ. Она легко разрывается по направленію этихъ волоконъ, что показываетъ, что ея связь поперегъ радіально идущихъ волоконъ не очень крѣпка. На membrana basilaris прикрѣплены окончанія нерва улитки и его придатки, что указано на фиг. 46 пунктирными линіями.

Фиг. 45.



Костяная правая улитка вскрытая спереди. *Md* ось улитки (modiolus) *Ls* тонкая костяная пластинка или бляшка (lamina spiralis) *H* крючекъ (hamulus) *Fec* круглое окошечко (fenestra cochleae). † Разрѣзъ промежуточной стѣнки улитки. †† Верхній конецъ улитки.

Фиг. 46.



Поперечный разрѣзъ оборота улитки размягченной въ соляной кислотѣ. *Ls* костяная спиральная пластинка или бляшка (lamina spiralis). *Lls* limbus laminae spiralis (край бляшки). *Sv* лѣстница преддверія (scala vestibuli). *St* лѣстница барабана (scala tympani) *Dc* протокъ улитки (ductus cochlearis). *Lsp* ligam. spirale. *v* перепонка преддверія (membrana vestibularis). *b* membrana basilaris. *e* наружная стѣнка протока улитки. *Ея утолщеніе. Пунктирныя линіи означаютъ разрѣзы *membrana tectoria* (покровной перепонки) и слуховыхъ палочекъ.

Если барабанная перепонка вгоняется квнутри увеличеннымъ давленіемъ воздуха въ слуховомъ проходѣ, то какъ было сказано выше, она тѣснитъ слуховыя косточки также квнутри и при этомъ въ особенности ступня стремени вхо-

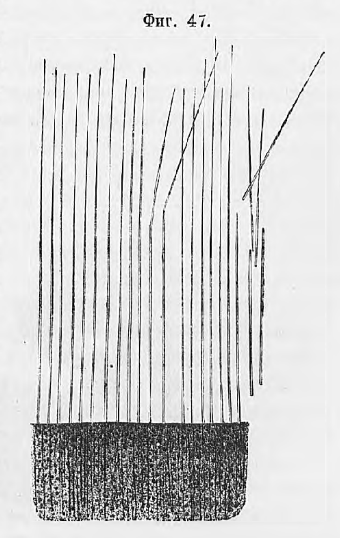
дитъ глубже въ овальное окошечко. Жидкость лабиринта, заключенная впрочемъ въ крѣпкихъ костяныхъ стѣнкахъ, имѣетъ только одинъ выходъ, куда она можетъ отклониться подъ давленіемъ стремени, именно круглое окошечко съ его уступчивою перепонкою. Но для того, чтобы туда дойти, жидкость лабиринта должна или протечь чрезъ helicotrema, узкое отверстіе, находящееся на осевомъ концѣ, отъ лѣстницы преддверія къ лѣстницѣ барабана, или такъ какъ для это о при Звуковыхъ колебаніяхъ нѣтъ по всей вѣроятности довольно времени, то она должна тѣснить перепончатую перегородку улитки къ лѣстницѣ барабана. Обратное должно произойти при разрѣженіи воздуха въ слуховомъ проходѣ.

И такъ, вотъ какимъ образомъ Звуковыя колебанія воздуха, заключающагося въ наружномъ слуховомъ проходѣ, окончательно переносятся на перепонки лабиринта, преимущественно на перепонку улитки и на распространенныя тамъ нервы.

Я уже упомянулъ, что конечныя развѣтвленія этихъ нервовъ соединены съ весьма маленькими упругими придатками, которые повидимому предназначены для того, чтобы своими колебаніями привести въ возбужденіе нервы.

Затѣмъ что касается до нервовъ преддверія, то они оканчиваются въ прежде упомянутыхъ утолщенныхъ мѣстахъ мѣшечковъ перепончатаго лабиринта, гдѣ ткань имѣетъ также большую, почти хрящеобразную твердость. Подобное, снабженное нервами мѣсто выдается въ формѣ полоски внутри ампулы каждаго полукружнаго канала, а другое находится у каждаго изъ мѣшечковъ преддверія. Нервныя волокна здѣсь входятъ между нѣжными цилиндрическими клѣтками тонкаго эпителія, который обтягиваетъ внутреннюю поверхность полосокъ. Въ ампулахъ, по открытію Макса Шульца (Max Schultz), выдаются изъ внутренней поверхности этого эпителія совершенно особенные, жесткіе, упругіе волоски, которые изображены на фиг. 47. Они гораздо длиннѣе, чѣмъ волоски мерцательныхъ клѣтокъ (у ската они длиною въ $1/_{25}$ линіи); они ломки и оканчиваются весьма тонко. Подобные тонкіе и жесткіе волоски, очевидно, въ

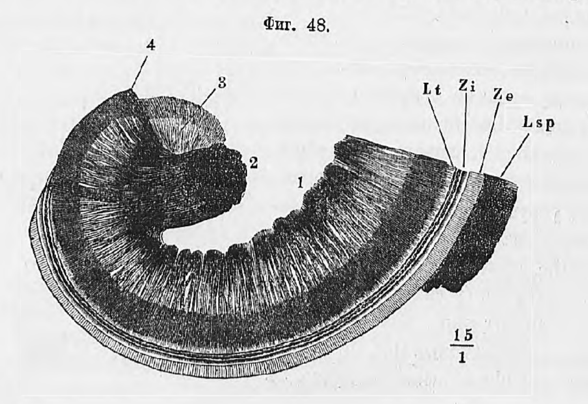
Фиг. 47.



высокой степени приспособлены къ тому, чтобы также быть приводимыми въ движеніе движеніемъ жидкости и производить при этомъ механическое раздраженіе, лежащихъ въ мягкомъ эпителіи между ихъ основаніями нервныхъ нитей.

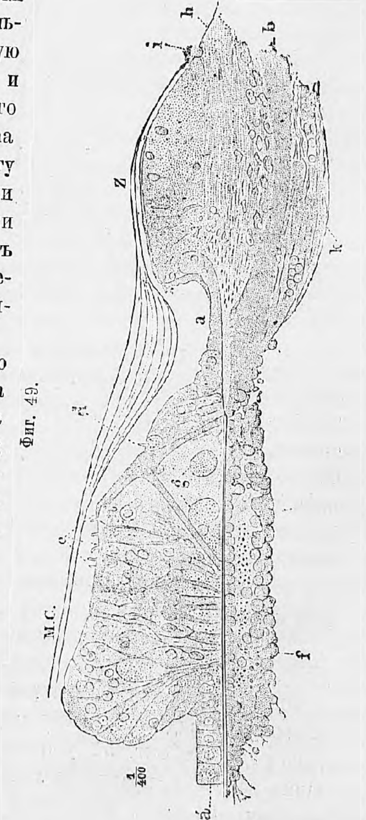
Соотвѣтствующія утолщенныя пластинки въ преддверіяхъ, въ которыхъ лежатъ концы нервовъ, обнаруживаютъ по Максу Шульцу тотъ же нѣжный эпителій, въ которомъ погружаются нервныя волокна и короткіе, легко разрушаемые, волоски. Далѣе, совершенно близко къ богатой нервами верхней поверхности лежатъ известковые сростки, такъ называемые слуховые камешки (отолиты), представляющіе у рыбъ взаимно связанныя выпукловогнутыя частицы, которыя на выпуклой сторонѣ обнаруживаютъ отпечатокъ нервной пластинки. Напротивъ, у людей, слуховые камешки суть кучки маленькихъ кристаллическихъ тѣлъ, удлиненной угловатой формы, которыя прилегаютъ плотно къ перепонкѣ мѣшечковъ и кажутся къ ней прикрѣпленными. И эти то слуховые камешки въ высокой степени способны вызывать механическое раздраженіе нервовъ при всякомъ внезапномъ движеніи жидкости лабиринта. Тонкая и легкая перепонка, заключающая въ себѣ нервы, вѣроятно мгновенно слѣдуетъ за движеніемъ жидкости, тогда какъ болѣе тяжелые кристаллики приводятся въ движеніе медленнѣе и передаютъ также свое движеніе медленнѣе, такъ что они могутъ при этомъ частью дергать, частью сжимать сосѣднюю массу нервовъ. Вслѣдствіе этого условія для раздраженія нервовъ, происходитъ совершенно нѣчто подобное тому какъ въ Гейденгайновомъ тетаномоторѣ. Въ этомъ инструментѣ мускульный нервъ подвергается вліянію весьма быстро колеблющагося молоточка изъ слоновой кости такъ что при каждомъ ударѣ нервъ хотя и сжимается, но не раздавливается. Этимъ получаютъ сильное и продолжительное возбужденіе нерва, которое узнается посредствомъ продолжительнаго и сильнаго сокращенія, зависящаго отъ его мускула. Для такого рода механическаго возбужденія, описанныя части уха кажутся также удобно расположенными.

Фиг. 48.



Строеніе улитки гораздо сложнѣе. Нервныя волокна идутъ чрезъ ось улитки, первоначально въ костяную часть перегородки, потомъ на перепончатую; тамъ гдѣ они достигаютъ эту послѣднюю находятся особыя образованія, въ которыхъ оканчиваются нервы, открытыя только въ новѣйшее время Кортіемъ (Marchese Corti) и названныя по его имени Кортіевымъ органомъ.

Распространеніе нерва улитки изображено на фиг. 48. Этотъ послѣдній входитъ чрезъ ось улитки (2) и направляетъ оттуда радіально свои волокна чрезъ костяную перегородку до ея края (1, 3 и 4 фиг.); здѣсь нервы прежде всего вступаютъ подъ начало membrana basilaris, потомъ пронизывая эту послѣднюю массою отверстій, они направляются въ протокъ улитки (ductus cochlearis) и къ нервнымъ и упругимъ органамъ, которые лежатъ на внутренней зонѣ перепонки (*Zi*).



Фиг. 49.

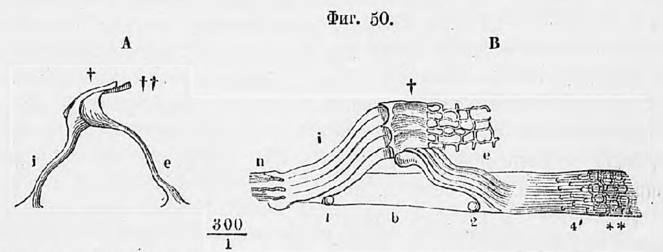
Край костяной перегородки (*a* до *b*) и внутренняя зона membrana basilaris (*aa'*) представлены на фиг. 49 по Генсену (Hensen); нижняя сторона чертежа соотвѣтствуетъ лѣстницѣ барабана (scala tympani), верхняя—протоку улитки (ductus cochlearis).

Здѣсь *h* и *k* суть оба листика костяной перегородки, между которыми простирается распространеніе нервовъ. Верхняя сторона костяной перегородки, какъ показываетъ также фиг. 46 у *Lls*, несетъ, состоящую изъ плотной соединительной ткани, планочку (*Z* фиг. 49),

которая, вслѣдствіе зубчатыхъ вдавленій на ея верхней сторонѣ обозначается зубчатою планочкою, при посредствѣ которой поддерживается особенная упругая съ сквозными дырьями перепонка, Кортіева перепонка *MC*, которая натянута параллельно membrana basilaris до костяной перегородки у наружной стороны прохода и прикрѣпляется нѣсколько выше membrana basilaris. Между названными обѣими перепонками лежатъ части, внутри коихъ и на которыхъ оканчиваются нервныя волокна.

Между ними относительно самыя крѣпкія образованія Кортіевы дуги (фиг. 49, *g*). Рядъ этихъ близь лежащихъ дугъ состоитъ изъ двухъ рядовъ палочекъ или волоконъ, одного наружнаго и одного внутренняго. Отдѣльная пара этихъ волоконъ представлена на фиг. 50

Фиг. 50.



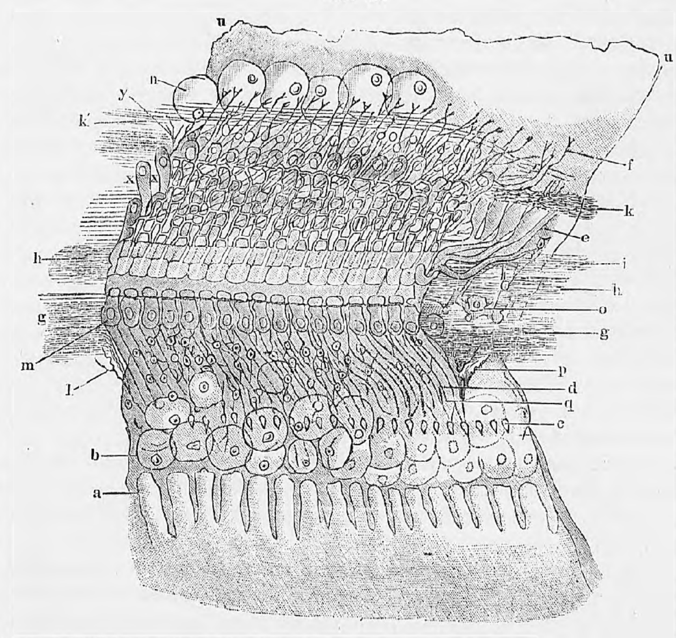
A наружная и внутренняя палочки въ ихъ взаимномъ между собою соединеніи, въ профили. *B* membrana basilaris съ концевыми пучками нервовъ (*n*) и съ внутренними и наружными палочками (*i* и *e*). 1 Внутренняя, 2 наружная основныя клѣтки. 4 Прикрѣпленія покровныхъ клѣтокъ. ** Эпителій.

A; небольшой рядъ изображенъ подъ *B*; послѣдній прикрѣпленъ къ membrana basilaris, и при † еще въ связи, съ снабженнымъ окошечками, выступомъ, въ который входятъ концевыя клѣтки нервовъ (*c* фиг. 49), описаніе которыхъ слѣдуетъ ниже. Со стороны лѣстницы преддверія, эти образованія представлены на фигурѣ 51; *a* здѣсь зубчатая планочка, *c*—отверстія для нерва на внутреннемъ краѣ membrana basilaris, при коей наружный край видимъ при *uu*; *d* внутренній рядъ Кортіевыхъ палочекъ, *e*—наружный рядъ; надъ послѣднимъ между *e* и *x* видна перепонка съ окошечками, къ которой примыкаютъ нервныя концевыя клѣтки.

Волокна перваго ряда плоскія, слабоизогнутыя образованія въ видѣ *S*, которыя восходятъ съ нижнимъ концевымъ утолщеніемъ отъ основной перепонки, къ которой они прикрѣплены и оканчиваются наверху, въ видѣ суставчика, служащаго связью съ волокнами втораго ряда. На фиг. 51 у *d* видно большое число этихъ восходящихъ волоконъ, правильно лежащихъ другъ возлѣ друга. Такимъ же образомъ, на всемъ протяженіи перепонки улитки, они установлены

плотно другъ возлѣ друга, такъ что ихъ число можно полагать доходящимъ до многихъ тысячъ. Ихъ стороны прилегаютъ плотно къ сторонамъ сосѣднихъ и кажется сами съ ними соединяются, но такъ, что мѣстами остаются свободныя щели въ линіи ихъ соединенія, черезъ которыя вѣроятно проходятъ нервныя волокна.

Фиг. 51.



Такимъ образомъ волокна перваго ряда, взятыя вмѣстѣ, составляютъ родъ негибкой планочки, которая усиливается круто выпрямляться, какъ только натуральныя прикрѣпленія не представятъ болѣе сопротивленія, при чемъ основная перепонка складывается между мѣстами прикрѣпленія Кортіевыхъ дугъ *d* и *e*.

Волокна втораго ряда, которыя образуютъ нисходящую часть дуги *e* фиг. 50, суть гладкія, гибкія, цилиндрическія нити съ утолщенными окончаніями. Верхнее окончаніе составляетъ родъ сочлененія для связи съ волокнами перваго ряда; нижнее расширяется въ видѣ колокола и крѣпко укрѣплено въ основной перепонкѣ. Въ микроскопическихъ препаратахъ ихъ видятъ большею частью разнообразно изогнутыми, однако конечно не можетъ быть сомнѣнія, что они въ своемъ натуральномъ соединеніи выпрямлены и до нѣкоторой

степени напряжены, такъ что верхнее суставчатое окончаніе волоконъ перваго ряда тянется ими книзу. Въ то время, какъ волокона перваго ряда восходятъ отъ внутренняго края перепонки, который можетъ быть сотрясенъ относительно мало, волокна втораго ряда прикрѣпляются почти въ срединѣ перепонки, слѣдовательно какъ разъ тамъ, гдѣ колебанія ея должны быть наиболѣе размашисты. Если давленіе жидкости лабиринта въ лѣстницѣ барабана увеличивается стременемъ, направляющимся въ овальное окошечко, то основная перепонка должна подаваться книзу; волокна втораго ряда должны быть напряжены сильнѣе и быть можетъ, что соотвѣтствующее мѣсто перваго ряда волоконъ будетъ согнуто не много книзу. Впрочемъ, кажется не очень вѣроятнымъ, чтобы волокна перваго ряда двигались много въ отдѣльности, потому что ихъ боковыя соединенія все-таки достаточно сильны, такъ что, если при анатомической препаровкѣ ихъ освободить отъ ихъ прикрѣпленія, то они остаются иногда длинными, взаимно соединенными рядами въ родѣ перепонки. Что Кортіевъ органъ есть аппаратъ, приспособленый къ тому, чтобы воспринимать колебанія основной перепонки и самому приходить въ колебанія, въ этомъ не можетъ оставить никакого сомнѣнія ихъ самое расположеніе, но какимъ образомъ совершаются эти колебанія, не можетъ быть еще достовѣрно опредѣлено нашими современными познаніями. Для этого слѣдовало бы имѣть возможность обсудить крѣпкость отдѣльныхъ частей, степень ихъ напряженія и ихъ гибкости лучше, чѣмъ какъ это позволяютъ нынѣшнія наблюденія надъ изолированными частями, какъ онѣ именно случайно располагаются подъ микроскопомъ.

Кортіевы волокна обтянуты и окружены множествомъ весьма нѣжныхъ и легко разрушимыхъ различнаго рода образованій волоконъ и клѣтокъ, частью тончайшими отростками нервныхъ волоконъ съ принадлежащими къ нимъ нервными клѣтками, частью волокнами соединительной ткани, которыя, какъ кажется, служатъ въ видѣ фиксаторнаго аппарата для прикрѣпленія и удерживанія на вѣсу нервныхъ образованій.

Эти части въ ихъ взаимной связи наилучшимъ образомъ показываетъ фиг. 49. Онѣ группируются въ видѣ вѣнчика мягкихъ клѣтокъ по обѣимъ сторонамъ и внутри Кортіевыхъ дугъ. Имѣющія между ними наибольшее значеніе, какъ кажется, снабженныя волосиками клѣтки у *c* и *d*, которыя имѣютъ такое же строеніе какъ и рѣсничныя клѣтки въ ампулахъ и въ мѣшечкѣ utriculus. Онѣ кажутся прямо связанными съ тонкими узловатыми нервными волокнами и составляютъ постояннѣйшую часть между органами улитки, такъ какъ у птицъ и у гадовъ, у которыхъ строеніе улитки гораздо

проще и Кортіевыхъ дугъ даже не существуетъ, упомянутыя клѣтки находятся здѣсь вездѣ и ихъ волосики расположены такъ, что могутъ ударяться о Кортіеву перепонку при колебаніяхъ membrana basilaris. Клѣтки при *a* и a_1 (фиг. 49), которыя на фиг. 51 при *b* и *n* представляются въ распухшемъ видѣ, имѣютъ по видимому только характеръ эпителія. На фиг. 51 видны кромѣ того ряды и сѣти волоконъ, которыя могутъ быть частью упирающими волокнами соединительно тканнаго строенія, частью же характеризуются какъ ряды тончайшихъ нервныхъ волоконъ, подобные по своему виду жемчужной ниткѣ. Эти части до того нѣжны и легко разрушаемы, что относительно ихъ связи и значенія существуетъ много сомнительнаго.

Поэтому существенный результатъ нашего описанія уха заключается въ томъ, что мы нашли окончанія слуховаго нерва вездѣ соединенными съ особенными то упругими, то твердыми вспомогательными аппаратами, которые могутъ быть приведены въ соколебанія подъ вліяніемъ внѣшнихъ колебаній и которые вѣроятно тогда сотрясаютъ и возбуждаютъ нервную массу. Уже въ III главѣ было изложено, что проявленіе совмѣстнаго звучанія представляетъ для наблюденія весьма различное отношеніе, смотря потому, долго ли продолжаетъ звучать, приведенное разъ въ движеніе соколеблющееся тѣло или же оно быстро теряетъ свое движеніе. Тѣла, какъ напр. камертоны, которые, разъ будучи ударены, продолжаютъ долго звучать, способны въ высокой степени къ совмѣстному звучанію, не смотря на трудность подвижности ихъ массы, такъ какъ они допускаютъ длинное суммированіе весьма малыхъ самихъ по себѣ толчковъ, производимыхъ на нихъ каждымъ отдѣльнымъ колебаніемъ возбужденнаго тона. Но именно поэтому должно также существовать точнѣйшее совпаденіе между собственнымъ тономъ камертона и высотою возбуждаемаго тона, потому что въ противномъ случаѣ, толчки отъ послѣдующихъ колебаній воздуха не могутъ продолжительно падать на ту же фазу колебанія, гдѣ они усиливаютъ послѣдствія дѣйствій прежнихъ толчковъ. Напротивъ, если взять тѣла, коихъ тонъ скоро перестаетъ звучать, напр. натянутыя перепонки или тонкія, легкія струны, то они также обнаружатъ явленіе совмѣстнаго звучанія, если на нихъ имѣетъ случай повліять колеблющійся воздухъ, но ихъ совмѣстное звучаніе не будетъ такъ ограничено извѣстною высотою тона; они будутъ легко возбуждаемы довольно разнообразными тонами, потому что если упругое тѣло, будучи разъ ударено, и затѣмъ свободно звуча, почти потеряло свое движеніе чрез 10 колебаній, то не важно, будутъ ли новые толчки, которые оно принимаетъ по прошествіи этого времени дѣйствовать вполнѣ согласно съ прежними, какъ это было бы необ-

ходимо при другомъ звучащемъ тѣлѣ, въ которомъ возбужденное первымъ толчкомъ движеніе существуетъ еще почти неизмѣннымъ, когда его настигаетъ второй толчекъ. Въ послѣднемъ случаѣ второй толчекъ только тогда будетъ въ состояніи увеличить движеніе, если онъ попадетъ какъ разъ въ такую фазу колебанія, гдѣ его направленіе совпадаетъ уже съ существующимъ.

Взаимная связь между этими обѣими отношеніями можетъ быть вычислена точно, совершенно независимо отъ природы совмѣстно звучащаго тѣла, и такъ какъ это важно для сужденія объ отношеніяхъ этихъ явленій въ ухѣ, то я дамъ здѣсь нижеслѣдующую маленькую табличку *). Представимъ себѣ совмѣстно звучащее тѣло, которое сперва доведено до maximum колебанія, въ точности одинаково настроеннымъ тономъ; пусть теперь возбуждающій тонъ будетъ измѣняемъ до тѣхъ поръ, пока сила соколебанія не уменьшится до $^1/_{10}$ ея прежней величины. Величина этой разницы тоновъ дана въ первомъ столбцѣ слѣдующей таблицы. Пусть теперь приведутъ въ сотрясенія тоже звучащее тѣло и оставятъ его безпрепятственно звучать. Пусть наблюдаютъ послѣ сколькихъ его колебаній его сила тона дойдетъ до $^1/_{10}$ его первоначальной силы. Число этихъ колебаній дано во второмъ столбцѣ.

Разница высоты тона, посредствомъ которой сила соколебанія уменьшается на $^1/_{10}$.	Число колебаній, по окончаніи которыхъ сила тона уменьшается на $^1/_{10}$.
1. Восьмая тона	38.00
2. Четверть тона	19.00
3. Полтона	9.50
4. Три четверти тона	6.33
5. Цѣлый тонъ	4.75
6. Пять четвертей тона . . .	3.80
7. Малая терція ($^3/_2$ тона) .	3.17
8. Семь четвертей тона . . .	2.71
9 Большая терція (2 тона). .	2.37

Если мы и не можемъ еще точно опредѣлить для уха и его отдѣльныхъ частей какъ долго они продолжаютъ звучать, то все же извѣстные опыты позволяютъ намъ приблизительно обсудить, въ какой части, представленной нами таблицы должны приблизительно

*) Способъ ихъ вычисленія разъясненъ точнѣе въ приложеніи X.

быть помѣщены части уха. Натурально, что въ ухѣ не можетъ имѣться такихъ частей, которыя приблизительно продолжаютъ звучать также долго, какъ камертонъ, потому что это бы уже не скрылось и отъ обыкновеннаго наблюденія. Но, если бы даже въ ухѣ и были части, которыя бы соотвѣтствовали только первой ступени нашей таблицы и которыя бы употребляли 38 колебаній для потери ихъ силы на $^1/_{10}$, то это мы бы узнали при болѣе низкихъ тонахъ потому что 38 колебаній требуютъ при A треть секунды, при a шестую часть секунды, при a' двѣнадцатую и т. п. Такая долгая продолжительность звучанія сдѣлала бы невозможнымъ всякое быстрое движеніе въ предѣлахъ малой и одночертной октавъ; если бы оно совершалось въ самомъ ухѣ, то было бы для музыки такимъ же нарушеніемъ, какъ сильный резонансъ въ пространствѣ со сводомъ, или какъ устраненіе демпферовъ въ фортепіано. При треляхъ мы можемъ дѣлать очень хорошо отъ 8 до 10 ударовъ въ секунду, такъ что каждый изъ обоихъ тоновъ будетъ ударенъ 4 или 5 разъ. Если бы теперь первый тонъ еще не переставалъ звучать до окончанія втораго или по крайней мѣрѣ не уменьшался настолько, чтобы возлѣ другаго его болѣе нельзя было замѣтить, то оба тона трели не могли бы выходить каждый самъ по себѣ ясно, но постоянно слышали бы смѣшеніе обоихъ тоновъ. Таковыя трели, примѣрно съ 10 ударами въ секунду, могутъ быть исполнены въ большей части скалы рѣзко и отчетливо но ниже A, въ большой и контр-октавѣ, онѣ дѣйствительно звучатъ дурно и глухо и ихъ тоны клонятся къ смѣшенію. Можно легко доказать, что механизмъ инструментовъ въ этомъ непричастенъ. Если напр. дѣлаютъ трель на фисгармоникѣ, то тамъ клавиши низкихъ тоновъ совершенно также устроены и также легко приводятся въ движеніе, какъ и клавиши высокихъ тоновъ. Каждый отдѣльный тонъ отдѣленъ совершенно вѣрно и вполнѣ, какъ только клапанъ упадаетъ на воздушный каналъ и каждый изъ нихъ звучитъ пока клапанъ открытъ, такъ какъ въ продолженіи такого короткаго перерыва времени язычки находятся въ колебаніи. Подобное же происходитъ и на віолончелѣ. Въ то мгновеніе когда палецъ, дѣлающій трель, поставленъ на струну, она должна переходить въ другой періодъ колебанія, который соотвѣтствуетъ ея настоящей длинѣ; а въ то мгновеніе, когда палецъ удаленъ, должна наступать та вибрація, которая соотвѣтствуетъ прежнему тону; и все-таки трель внизу также несовершенна, какъ и на каждомъ другомъ инструментѣ. На фортепіано быстрые пассажи и трели въ нижней части скалы воспроизводятся еще относительно наиболѣе хорошо, потому что въ мгновеніе удара новый тонъ звучитъ съ большею и быстро убывающею силою. Поэтому, среди негармоническаго шума, производимаго одно-

временнымъ существованіемъ обоихъ тоновъ, слышатъ по крайней мѣрѣ также рѣзко выдѣляющіеся отдѣльные тоны. Такъ какъ затрудненіе производить внизу трель для всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ одно и тоже, и на отдѣльныхъ инструментахъ она, какъ оказывается, совершенно независима отъ способа воспроизведенія тоновъ, то мы должны заключить, что имѣемъ здѣсь дѣло съ затрудненіемъ, которое заключается въ самомъ ухѣ. Это явленіе ясно указываетъ на то, что заглушеніе колеблющихся частей въ ухѣ для низкихъ тоновъ недостаточно сильно и быстро для того, чтобы допустить безпрепятственно столь быструю мѣну тоновъ.

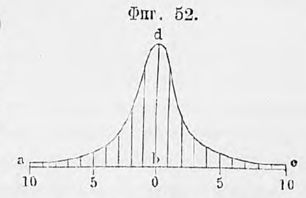
Далѣе этотъ фактъ доказываетъ то, что должны быть различныя части уха, которыя приводятся въ колебаніе различно высокими тонами и которыя ихъ ощущаютъ. Дѣло въ томъ, что можно было бы подумать, что способная къ колебанію масса всего уха, т. е. барабанная перепонка, слуховыя косточки и жидкость лабиринта, взятыя вмѣстѣ, могли бы колебаться и что отъ инерціи этой массы колебанія тоновъ не тотчасъ же исчезаютъ въ ухѣ. Но такое предположеніе было бы недостаточно, чтобы пояснить фактъ, о которомъ шла рѣчь. Дѣло въ томъ, что если упругое тѣло будетъ приведено въ соколебаніе посредствомъ какого либо тона, то оно соколеблется въ одинаковомъ числѣ колебаній возбуждающаго тона; какъ только послѣдній замолкаетъ, оно однако еще продолжаетъ звучать съ числомъ колебаній своего собственнаго тона. Этотъ фактъ, который слѣдуетъ изъ теоріи, доказывается весьма точно на камертонахъ посредствомъ микроскопа вибрацій.

Если теперь ухо колеблется какъ цѣлая система, и способно замѣтно продолжать колебаться, то оно должно это совершать въ своемъ собственномъ числѣ колебаній, которое совершенно независимо отъ числа колебаній предшествовавшаго тона, возбудившаго эти колебанія. Слѣдовательно, отсюда бы слѣдовало, что во первыхъ исполненіе трелей должно было бы быть одинаково трудно, какъ на высокихъ, такъ и на низкихъ тонахъ, и во вторыхъ, что оба тона трели не могли бы смѣшиваться другъ съ другомъ, а что каждый изъ нихъ смѣшивался бы съ третьимъ тономъ, который принадлежитъ самому уху. Съ такимъ тономъ мы уже познакомились въ предъидущей главѣ, это высокое f''''. Результатъ при этихъ обстоятельствахъ былъ бы слѣдовательно совершенно другой, чѣмъ тотъ, который мы дѣйствительно наблюдали.

Если теперь исполняется на *A* съ 110 колебаніями трель съ 10-ю ударами въ секунду, то одинъ и тотъ же тонъ постоянно будетъ снова ударяемъ чрезъ каждую $^1/_5$ секунды. Мы имѣемъ право допустить что трель не была бы ясна, если бы сила звучащаго тона не умень-

шалась по крайней мѣрѣ на $^1/_{10}$ по прошествіи $^1/_5$ секунды. Отсюда слѣдуетъ, что по меньшей мѣрѣ послѣ 22-хъ колебаній соколеблющіяся части уха при *A*, если бы ихъ предоставить самимъ себѣ, должны убавиться на $^1/_{10}$ ихъ прежней силы и что слѣдовательно ихъ соколебаніе можетъ соотвѣтствовать не первой, а второй, третьей или еще высшей ступени нашей таблицы. Что ступень не можетъ быть по крайней мѣрѣ значительно высокою выводится прежде всего изъ того, что трели и быстрые пассажи уже начинаютъ дѣлаться затруднительными въ немного ниже лежащихъ частяхъ скалы. Тоже научатъ и наблюденія надъ дрожаніями, которыя будутъ описаны впослѣдствіи. Вообще мы въ состояніи принять, что соколеблющіяся части въ ухѣ обнаруживаютъ примѣрно ту степень заглушенія, которая соотвѣтствуетъ третьей ступени нашей таблицы, гдѣ сила соколебанія при разницѣ на полтона есть только $^1/_{10}$ силы при полномъ однозвучіи. Натурально, что здѣсь не можетъ быть и рѣчи о точномъ опредѣленіи, но уже важно то, что мы по крайней мѣрѣ составили себѣ приблизительное понятіе о вліяніи заглушенія на соколебаніе въ ухѣ. Это имѣетъ громадное, по своему вліянію, значеніе для условій консонансовъ. Слѣдовательно, если мы будемъ говорить въ послѣдующемъ о томъ, что отдѣльныя части уха совмѣстно звучатъ для опредѣленнаго тона, то это слѣдуетъ понимать такъ, что онѣ этимъ тономъ приводятся хотя сильнѣйшимъ образомъ въ движеніе, но однако въ меньшей степени также и сосѣдними тонами, такъ что ихъ соколебаніе еще замѣтно по крайней мѣрѣ при разницѣ на полтона. Чтобы дать понятіе о законѣ, по которому уменьшается сила соколебанія, когда увеличивается разность высотъ тоновъ, послужитъ ниже изображенная фиг. 52. Горизонтальная линія *abc* изображаетъ часть музыкальной скалы, *ab* и *bc* представляютъ каждая протяженіе цѣлаго тона. Положимъ, что одно соколеблющееся тѣло настроено въ *b* и вертикальная линія *bd* обозначатъ maximum силы тона, который оно даетъ при полномъ однозвучіи съ возбуждающимъ тономъ. На основной линіи *ab* протяженіе каждаго цѣлаго тона раздѣлено на десять частей, а находящіяся надъ нимъ высоты обозначаютъ относящуюся къ нимъ силу тона соколеблющагося тѣла, когда возбуждающій тонъ уклоняется отъ однозвучія на соотвѣтствующую разность.

Фиг. 52.



Я прилагаю здѣсь числа, по которымъ построена фиг. 52

Разница высоты тона.	Сила соколебанія.
0,0	100
0,1	74
0,2	41
0,3	24
0,4	15
Полтона.	10
0.6	7,2
0,7	5,4
0.8	4,2
0,9	3,3
Цѣлый тонъ.	2,7

Конечно нельзя съ точностью опредѣлить какія именно части уха соколеблются при отдѣльныхъ тонахъ. Слуховыя камешки, плавающія въ слизистой жидкости, дѣйствительно едва ли способны къ правильнымъ колебаніямъ, но они болѣе склонны поддаваться отдѣльнымъ толчкамъ и передавать ихъ нервамъ. Тоже самое слѣдуетъ сказать и о волосикахъ ампулъ, такъ какъ тѣла такой ничтожной величины не могутъ долго пребывать въ своемъ движеніи. Форма ампулъ, представляя обширныя или пространныя полости съ двумя относительно узкими отверстіями, кажется приспособленною для проявленія отдѣльной средней струи жидкости, которая теряется постепенно съ боковъ или расплывается въ общемъ кругообращеніи *).

Такія подвижныя струи, отдѣляющіяся отъ окружающей, находящейся въ спокойномъ состояніи жидкости, образуются вездѣ, гдѣ жидкость входитъ въ большее пространство чрезъ отверстіе, или изъ канала съ остроограниченными краями. Всякая дымовая труба, изъ которой подымается столбъ воздуха съ дымомъ, представляетъ такое же явленіе. Дымовая струя остается на нѣкоторомъ протяженіи отдѣльною отъ окружающаго болѣе чистаго воздуха, и затѣмъ разрѣжается клубами, расплывается или теряется въ общей массѣ воздуха. Теперь, если возбужденіе нервовъ зависитъ отъ того, что волосики конечныхъ нервныхъ клѣтокъ будутъ изогнуты по направленію къ клѣткамъ, то для этого недостаточно прямаго и обратнаго движенія всей плавающей массы клѣтки въ жидкости, но напротивъ отдѣльныя ея части должны быть поражены струями жидкости различной

*) Смотри мой Notiz über discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen in den Monatsberichten der Berliner Academie 23 April 1868.

силы или различнаго направленія; для того же чтобы воспроизвести подобныя перерывающіяся теченія, какъ разъ весьма приспособлены слуховые камешки и ампулы.

Съ другой стороны, перегородка улитки съ расположенными на ней Кортіевыми дугами, по всему своему строенію, скорѣе всего кажется приспособленною для совершенія самостоятельныхъ колебаній. Намъ вѣдь и нѣтъ надобности, чтобы она могла колебаться долгое время безъ поддержки. Для слуха, вѣроятно, имѣетъ важное значеніе то, что мы находимъ на нервахъ столь разнообразные концевые аппараты. Упругія образованія, съ сильнымъ заглушеніемъ, будутъ относительно сильнѣе поражаемы коротко проходящими толчками и теченіями жидкости лабиринта, чѣмъ музыкальными тонами. Слѣдовательно, они именно будутъ въ состояніи служить для воспринятія быстро проходящихъ неправильныхъ сотрясеній, т. е. для ощущенія шума. Напротивъ, слабѣе заглушаемыя упругія тѣла будутъ возбуждены гораздо сильнѣе музыкальнымъ тономъ соотвѣтствующей имъ высоты, чѣмъ отдѣльными толчками. Наше ухо приспособлено для обоихъ случаевъ, и мы въ правѣ предполагать, что это основывается на существованіи разнородныхъ концевыхъ органовъ, и что слѣдовательно расширенія нервовъ въ преддверіи и ампулахъ служатъ для воспринятія шума, тогда какъ Кортіевы волокна съ membrana basilaris служатъ для воспринятія музыкальныхъ тоновъ.

Но если эти образованія должны служить для различенія тоновъ различной высоты, и если тоны различной высоты всего протяженія скалы должны быть одинаково хорошо воспринимаемы, то необходимо, чтобы упругія образованія въ улиткѣ, соединенныя съ различными нервными волокнами, имѣли бы различную настройку, и чтобы ихъ собственные тоны составляли правильную послѣдовательность ступеней на всемъ протяженіи музыкальной скалы.

По новѣйшимъ анатомическимъ изслѣдованіямъ Генсена и Гассе *), дѣлается вѣроятною разница въ ширинѣ membrana basilaris улитки, на которой основана эта настройка.

Названная перепонка въ своемъ началѣ противъ овальнаго окошечка относительно узка и постоянно все болѣе и болѣе расширяет-

*) Въ первомъ изданіи этого сочиненія, которое было написано въ такое время, когда труды о болѣе подробной анатоміи улитки находились еще только въ начальномъ развитіи, я сдѣлалъ предположеніе, что различная крѣпкость и напряженіе Кортіевыхъ волоконъ можетъ быть причиною различной настройки. Измѣреніями ширины membrana basilaris Генсеномъ, (Zeitschrift für wissensch. Zoologie. Bd. XIII. S. 492) и изслѣдованіями Гассе, что у птицъ и амфибій нѣтъ Кортіевыхъ дугъ, теперь даны гораздо болѣе точныя основы для сужденія, чѣмъ тѣ, которыя я имѣлъ тогда.

*

ся, по мѣрѣ того, какъ приближается къ своду или куполу улитки. Генсенъ (V. Hensen) нашелъ у одного новорожденнаго, между линіею прохожденія нервныхъ волоконъ у внутренняго края до придатка на спиральной связкѣ у наружнаго края, слѣдующія мѣры измѣренія:

Мѣсто поперечнаго разрѣза.	Ширина перепонки.
0,2625 мил. отъ корня	0,04125 м.
0,8626 » » »	0,0825 »
2 четверти перваго оборота	0,169 »
Конецъ перваго оборота.	0,3 »
Средина втораго оборота	0,4125 »
Его конецъ.	0,45 »
У крючка.	0,495 »

Слѣдовательно, ширина возрастаетъ отъ начала до конца болѣе чѣмъ въ двѣнадцать разъ.

Кортіевы волокна обнаруживаютъ также приращеніе величины по направленію къ своду или куполу улитки, но въ гораздо меньшей мѣрѣ, чѣмъ membrana basilaris. По Генсену будетъ:

	У круглаго окошечка.	У крючка.
Длина внутренней палочки	0,048 м.	0,0855 м.
» наружной »	0,048 »	0,098 »
Степень напряженія дуги	0,019 »	0,085 »

Отсюда слѣдуетъ, какъ это также подтвердилъ Генле (Henle), что наибольшее увеличеніе ширины падаетъ на наружную зону основной перепонки, по другую сторону линіи прикрѣпленія наружныхъ палочекъ. Эта послѣдняя ширина возрастаетъ отъ 0,023 м. до 0,41 м. почти въ 20 разъ.

Соотвѣтственно этимъ измѣненіямъ, стоятъ круто кверху у круглаго окошечка оба ряда Кортіевыхъ волоконъ почти параллельно другъ другу, тогда какъ ближе къ куполу они сильнѣе наклонены другъ къ другу.

Изъ вышеупомянутаго уже условія, что membrana basilaris улитки легко разрывается по направленію радіусовъ, тогда какъ ея радіальныя волокна имѣютъ довольно значительную степень крѣпкости, слѣдуетъ, какъ мнѣ кажется, весьма важное въ механическомъ отношеніи обстоятельство, а именно, что упомянутая перепонка и въ сво-

емъ натуральномъ прикрѣпленіи можетъ быть, правда, сильно напряжена въ поперечномъ направленіи отъ стержня къ наружной стѣнкѣ улитки, но во всякомъ случаѣ по направленію ея длины напряжена только слабо. Именно въ этомъ направленіи она совсѣмъ бы не была съ состояніи сопротивляться сильнѣйшему напряженію.

При такомъ положеніи дѣла, какъ показываетъ математическій анализъ, перепонка, которая при различныхъ направленіяхъ напряжена различно, будетъ находиться во время своего колебанія совершенно въ иномъ положеніи, чѣмъ какъ было бы это тогда, когда бы она была равномѣрно напряжена во всѣ стороны. Колебанія въ этой послѣдней, введенныя въ одной ея части, распространяются равномѣрно по всѣмъ направленіямъ и при равномѣрномъ напряженіи было бы невозможно привести въ колебанія одну часть membrana basilaris безъ возбужденія во всѣхъ другихъ частяхъ перепонки приблизительно такихъ же сильныхъ колебаній, не обращая при этомъ вниманія на образующіяся отдѣльныя узловыя линіи.

Но если напряженіе по направленію длины безконечно мало, сравнительно съ напряженіемъ по направленію ширины, то съ membrana basilaris было бы приблизительно то, что ея радіальныя волокна представили бы систему напряженныхъ струнъ, поперечно-перепончатое соединеніе которыхъ служитъ только къ тому, чтобы предоставить возможность давленію жидкости на эти струны. Тогда законы ея движенія должны быть тѣже самые, какъ будто бы каждая изъ этихъ струнъ въ отдѣльности была независима въ своемъ движеніи отъ другихъ, и будто бы каждая сама по себѣ повиновалась вліянію періодически мѣняющагося давленія жидкости лабиринта въ лѣстницѣ преддверія. Сообразно этому, возбуждающій тонъ привелъ бы въ соколебаніе именно то мѣсто перепонки, въ которомъ собственный тонъ напряженныхъ и различными придаточными образованіями снабженныхъ радіальныхъ волоконъ наиболѣе всего соотвѣтствуетъ возбуждающему тону перепонки; колебанія распространялись бы отсюда съ быстроубывающею силою на сосѣднія части перепонки. Фиг. 52 могла бы просто представить, съ преувеличенною высотою, продольный разрѣзъ того направленія мѣста колеблющейся membrana basilaris, гдѣ собственный тонъ радіальныхъ волоконъ всего ближе соотвѣтствуетъ возбуждающему тону.

Большее или меньшее ограниченіе сильно колеблющейся части перепонки зависило бы, какъ уже прежде было изложено вообще для соколеблющихся тѣлъ, отъ степени заглушенія, которое претерпѣваютъ колебанія перепонки отъ сосѣднихъ частей, въ особенности отъ тренія въ жидкости лабиринта и въ студенистыхъ мягкихъ частяхъ нервной мякоти.

При этихъ обстоятельствахъ, тѣ части перепонки, которыя находятся въ однозвучіи съ высшими тонами, нужно будетъ искать вблизи круглаго окошечка, а части для низкихъ тоновъ слѣдуетъ искать близь купола улитки, какъ это уже вывелъ изъ своихъ измѣреній Генсенъ (Hensen). Что такія короткія струны все таки могутъ отвѣчать такимъ низкимъ тономъ, то это могло бы объясняться тѣмъ условіемъ, что названныя струны membrana basilaris сильно обременены всякаго рода твердыми образованіями, но въ особенности принимается еще также во вниманіе какъ грузъ жидкость обѣихъ лѣстницъ улитки, такъ какъ безъ нѣкотораго рода волнообразнаго движенія въ послѣдней, перепонка совсѣмъ не можетъ двигаться.

Что касается Кортіевыхъ дугъ па основной перепонкѣ улитки, то наблюденія Гассе (Hasse) показываютъ лучше всего, что ихъ недостаетъ въ улиткѣ птицъ и амфибій, тогда какъ существуютъ остальныя существенныя наличныя части улитки, какъ то: membrana basilaris, соединенныя съ концами нервовъ рѣсничныя клѣтки и Кортіева перепонка, противопоставленная концамъ волосиковъ клѣтокъ. Отсюда дѣйствительно становится весьма вѣроятнымъ, что Кортіевы дуги играютъ въ отправленіяхъ улитки только второстепенную роль. Пользу Кортіевыхъ дугъ можно было бы, можетъ быть, искать въ томъ, что они, какъ относительно крѣпкія образованія, лучше передаютъ колебанія основной перепонкѣ на весьма ограниченныя области верхней части относительно толстаго утолщенія нерва, чѣмъ помощью непосредственной передачи колебаній отъ основной перепонки черезъ мягкую массу этого нервнаго утолщенія. Совершенно близко кнаружи отъ верхняго конца дуги стоятъ соединенные съ нимъ посредствомъ негибкихъ рядовъ волоконъ membrana reticularis, рѣсничныя клѣтки нервнаго утолщенія (см. ф. 49 *c*). Напротивъ у птицъ, рѣсничныя клѣтки образуютъ тонкій слой на основной перепонкѣ, который будетъ легко воспринимать ограниченныя колебанія этой послѣдней, не передавая ихъ слишкомъ далеко въ стороны.

И такъ, сообразно этому взгляду, въ послѣдней инстанціи должны быть Кортіевы дуги, которыя, получивъ колебанія отъ основной перепонки, сообщаютъ ихъ конечнымъ органамъ нервной проводимости. Когда дѣло будетъ идти о колебаніяхъ, собственномъ тонѣ и настройкѣ Кортіевыхъ дугъ, то я прошу въ послѣдующемъ это понимать въ сказанномъ смыслѣ; при этомъ всегда подразумѣвается такая настройка, какую мы получаемъ отъ ихъ соединенія съ соотвѣтствующими частями основной перепонки.

По Кёлликеру (Kölliker), въ человѣческой улиткѣ содержится до 3000 Кортіевыхъ дугъ. Если отсчитаемъ 200 дугъ на долю тоновъ, находящихся внѣ употребительныхъ музыкою границъ, коихъ высота

тона не вполнѣ усвоивается ухомъ, то у насъ останется 2800 дугъ для семи октавъ музыкальныхъ инструментовъ, т. е. по 400 на каждую октаву и по $33\frac{1}{3}$ на каждые полтона, что во всякомъ случаѣ вполнѣ достаточно, чтобы объяснить различіе малыхъ частей полутона на столько, на сколько подобное различіе возможно. По изслѣдованіямъ Вебера (Weber), опытные музыканты могутъ еще подмѣтить различіе высоты тона, которое соотвѣтствуетъ отношенію колебаній 1000 къ 1001. Это бы равнялось приблизительно $\frac{1}{64}$ полутона, величинѣ еще меньшей чѣмъ та, которая соотвѣтствуетъ упомянутому отстоянію Кортіевыхъ дугъ. Но въ этомъ нѣтъ никакого противорѣчія съ нашимъ предположеніемъ, потому что если издается тонъ, коего высота лежитъ между высотою двухъ сосѣднихъ Котіевыхъ дугъ, то онъ приведетъ въ соколебаніе обѣ дуги, и ту именно сильнѣе, которая лежитъ ближе къ собственному тону. Слѣдовательно, малыя градаціи высоты тона, какія мы еще можемъ различать въ промежуткѣ двухъ волоконъ, будутъ только зависѣть отъ тонкости, съ которою могутъ быть сравниваемы силы возбужденій обоихъ соотвѣтствующихъ нервныхъ волоконъ. — Именно поэтому и объясняется то, что при непрерывно повышающейся высотѣ внѣшняго тона, наше ощущеніе также непрерывно измѣняется, не перескакивая со ступени на ступень, какъ это должно было бы случиться, если бы постоянно приводилась въ соколебаніе только одна Кортіева дуга въ отдѣльности.

Выведемъ далѣе слѣдствія нашей гипотезы. Если простой тонъ проводится къ уху, то должны быть сильно возбуждены тѣ Кортіевы дуги, которыя съ нимъ вполнѣ или приблизительно въ однозвучіи, а всѣ другія будутъ возбуждены слабо или совершенно не возбуждены. Слѣдовательно, всякій опредѣленной высоты простой тонъ будетъ ощущаемъ только посредствомъ нѣкоторыхъ нервныхъ волоконъ, а тоны различной высоты будутъ возбуждать различныя нервныя волокна. Если до уха дойдетъ сложный звукъ или аккордъ, то будутъ возбуждены всѣ тѣ упругія образованія, коихъ высота тона соотвѣтствуетъ содержащимся въ массѣ звуковъ различнымъ отдѣльнымъ тонамъ, и слѣдовательно при должно направленномъ вниманіи, всѣ отдѣльныя ощущенія отдѣльныхъ простыхъ тоновъ могутъ быть воспринимаемы въ отдѣльности. Аккордъ будетъ разложенъ на свои отдѣльные звуки, звукъ на свои отдѣльные гармоническіе тоны.

На основаніи вышеизложеннаго теперь понятно то объясненіе, почему ухо разлагаетъ колебанія воздуха именно на маятникообразныя колебанія. Всякая отдѣльная частица воздуха можетъ во всякое время совершать натурально только одно движеніе. То, что подобное движеніе мы разсматривали въ математическомъ анализѣ какъ сумму

маятникообразныхъ колебаній, было только произвольною фикціею, введенною для удобства теоріи, безъ истиннаго значенія. Такое значеніе мы нашли для этого разложенія впервые только при разсмотрѣніи соколебанія, такъ какъ періодическое движеніе не маятникообразное, можетъ довести до совмѣстнаго звучанія тѣла различной высоты тона, соотвѣтственно верхнимъ гармоническимъ тонамъ. Посредствомъ нашей гипотезы, мы теперь привели обратно явленія слуха къ явленіямъ совмѣстнаго звучанія и въ этомъ видимъ основаніе, почему первоначально простое періодическое движеніе воздуха воспроизводитъ сумму различныхъ ощущеній, и поэтому и для воспринятія проявляется какъ сложное.

Слѣдовательно, ощущеніе различныхъ высотъ тоновъ было бы поэтому ощущеніемъ въ различныхъ нервныхъ волокнахъ. Ощущеніе оттѣнка звука основывалось бы на томъ, что звукъ, кромѣ своего основнаго тона, соотвѣтствующаго Кортіевымъ дугамъ, вызываетъ еще множество другихъ тоновъ, слѣдовательно возбуждаетъ ощущеніе во многихъ разнообразныхъ группахъ нервныхъ волоконъ.

Въ физіологическомъ отношеніи слѣдуетъ еще здѣсь замѣтить, что вслѣдствіе этого предположенія, различное качество слуховыхъ ощущеній по высотѣ тона и оттѣнку приводится къ различію нервныхъ волоконъ, которые приводятся въ возбужденіе. Это шагъ такого же рода, какой сдѣлалъ Мюллеръ (Iohann Müller) въ большей области знанія, своимъ ученіемъ о специфическихъ энергіяхъ чувствъ. Онъ доказалъ, что различеніе ощущеній различныхъ чувствъ не зависимо отъ наружныхъ вліяній, которыя возбуждаютъ ощущенія, а отъ различныхъ нервныхъ аппаратовъ, которые ихъ воспринимаютъ. Въ этомъ мы можемъ убѣдиться тѣмъ опытомъ, что зрительный нервъ (nervus opticus) и его развѣтвленія, равно какъ и сѣтчатая оболочка глаза, какъ бы они возбуждены не были свѣтомъ, укалываніемъ, давленіемъ или электричествомъ, имѣютъ постоянно только ощущеніе свѣта; что, напротивъ, нервы осязанія даютъ только ощущеніе осязанія и никогда не производятъ ощущенія свѣта, Звука или вкуса. Тѣже самые лучи солнца, которые ощущаются глазомъ какъ свѣтъ, ощущаются нервами руки какъ тепло; тѣже самыя сотрясенія, которыя рука ощущаетъ какъ дрожанія, ухо ощущаетъ какъ Звукъ.

Подобно тому какъ ухо воспринимаетъ колебанія различной продолжительности за тоны различной высоты, колебанія различной продолжительности эѳира возбуждаютъ въ глазѣ ощущенія различныхъ цвѣтовъ; самыя быстрыя колебанія возбуждаютъ ощущенія фіолетоваго или голубаго, среднія колебанія зеленаго и желтаго и самыя медленныя краснаго цвѣтовъ. Законы смѣшенія цвѣтовъ повели

Томаса Юнга (Th. Young) къ гипотезѣ, что въ глазѣ существуетъ троякаго рода нервныя волокна, къ коимъ относятся различнаго рода ощущенія, а именно ощущающія красный, зеленый и фіолетовый цвѣта. Дѣйствительно, это предположеніе даетъ весьма простое и вполнѣ послѣдовательное объясненіе всѣхъ явленій зрѣнія, относящихся къ цвѣтамъ. Слѣдовательно, качественныя различенія ощущеній зрѣнія этимъ сводятся на разнообразіе ощущающихъ нервовъ. Поэтому, для ощущеній каждаго отдѣльнаго зрительнаго волокна остаются только количественныя различія большаго или меньшаго раздраженія.

Эта гипотеза, на которую навело насъ наше изслѣдованіе объ оттѣнкѣ звука, тожественна и для слуха. Различія качествъ тона, именно его высота и оттѣнокъ, сводятся на различіе ощущающихъ нервныхъ волоконъ, и для каждаго отдѣльнаго нервнаго волокна остаются только различія силы возбужденія.

Процессы возбужденій внутри мышечныхъ нервовъ, отъ раздраженія которыхъ сокращаются мышцы, были болѣе доступны физіологическимъ изслѣдованіямъ, чѣмъ процессъ въ чувствующихъ нервахъ. Въ самомъ дѣлѣ, мы находимъ тамъ только различіе сильнѣйшаго или слабѣйшаго возбужденія и никакихъ качественныхъ различій. Тамъ мы можемъ доказать, что въ состояніи возбужденія электрически дѣйствующія частицы нервовъ испытываютъ опредѣленныя измѣненія, которыя являются совершенно такимъ же образомъ, какимъ бы раздражающимъ средствомъ ни было вызвано состояніе возбужденія. Но точно такое же измѣненіе наступаетъ и въ раздраженныхъ чувствующихъ нервахъ, хотя здѣсь слѣдствіемъ раздраженія является ощущеніе, тогда какъ тамъ было движеніемъ, и мы отсюда видимъ, что механизмъ процесса раздраженія въ чувствующихъ нервахъ непремѣнно долженъ быть схожъ съ механизмомъ раздраженія въ двигательныхъ нервахъ. Дѣйствительно, обѣ упомянутыя гипотезы сводятъ теперь явленія въ нервахъ двухъ важнѣйшихъ чувствъ человѣка, не смотря на кажущіяся, столь запутанныя, качественныя различія ощущеній, къ той же именно схемѣ, которую мы знаемъ о двигательныхъ нервахъ. Неоднократно и умѣстно сравнивали нервы съ телеграфными проволоками. Подобная проволока проводитъ постоянно только тотъ же родъ электрическаго тока, который можетъ быть направленъ то сильнѣе, то слабѣе, или также въ противоположную сторону, но кромѣ этого не обнаруживаетъ качественныхъ различій. Тѣмъ не менѣе, смотря потому какъ концы проволоки соединяются съ различными аппаратами, можно посылать телеграфическія депеши, заставлять звонить колокола, взрывать мины, разлагать воду, приводить въ движеніе магниты, намагничивать желѣзо, возбуждать свѣтъ и т. п. Подобное же происходитъ и съ нер-

вами. Состояніе раздраженія, которое можетъ быть въ нихъ вызвано и отъ нихъ будетъ передано, есть, на сколько это можно судить по изолированному нервному волокну, всегда одно и тоже, но будучи проведено къ различнымъ мѣстамъ, отчасти мозга, отчасти внѣшнихъ частей тѣла, оно производитъ движенія, отдѣленія желѣзокъ, увеличеніе и уменьшеніе количества крови, красноты и теплоты отдѣльныхъ органовъ; затѣмъ производитъ снова ощущенія свѣтовыя, слуховыя и т. п. Если всякое качественно различное дѣйствіе этого рода воспроизводится въ различнаго рода органахъ, къ которымъ должны также проходитъ особыя нервныя волокна, то процессъ раздраженія въ отдѣльныхъ волокнахъ можетъ быть вездѣ одинъ и тотъ же, какъ постоянно тожественъ гальваническій токъ въ телеграфныхъ проволокахъ, какія бы онъ въ концахъ проволокъ ни воспроизводилъ разнообразныя дѣйствія. Напротивъ, пока мы принимаемъ, что одно и тоже нервное волокно передаетъ разнородныя ощущенія, то въ немъ должны проявляться и различныя роды явленій раздраженія, которыхъ мы до настоящаго времени доказать не могли.

Слѣдовательно, въ этомъ отношеніи, представленный здѣсь взглядъ, точно также, какъ и гипотезы Юнга о различіи цвѣтовъ имѣютъ еще дальнѣйшее значеніе для физіологіи нервовъ вообще.

Послѣ перваго изданія этой книги, изложенная здѣсь теорія слуховыхъ ощущеній была подтверждена интереснымъ образомъ наблюденіями и опытами Генсена *) на органахъ слуха животныхъ изъ семейства ракообразныхъ. Эти животныя имѣютъ то закрытые, то открытые снаружи мѣшечки съ камешками, въ которыхъ слуховые камешки свободно плаваютъ въ водянистой влагѣ и поддержаны особаго рода волосиками, прикрѣпленными своими концами къ камешкамъ и образующими, расположенную по ихъ величинѣ, массу рядовъ съ переходами отъ болѣе длинныхъ и толстыхъ волосиковъ къ болѣе короткимъ и тонкимъ. Кромѣ этого у многихъ раковъ находятся совершенно подобные же волосики на свободной поверхности тѣла, которые должны быть принимаемы какъ слуховые волосики. Доказательство, что наружные волосики служатъ также для слуха, основывается на сходствѣ ихъ строенія съ строеніемъ волосиковъ въ мѣшечкахъ съ камешками. Но затѣмъ Генсенъ нашелъ способность слышать сохраненною и послѣ того, когда онъ вырѣзалъ у *mysis* мѣшечки съ камешками и сохранилъ только внѣшніе слуховые волосики усиковъ.

*) Studien über das Gehörorgan der Decapoden. Leipzig 1863, извлеченныя изъ Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie Зибольда и Кёлликера. Bd. XIII.

Генсенъ направлялъ звукъ рога черезъ аппаратъ, подражающій барабанной перепонкѣ и слуховымъ косточкамъ, въ воду маленькаго ящичка, въ которомъ былъ прикрѣпленъ экземпляръ *mysis*, такъ что можно было наблюдать помощью микроскопа наружные слуховые волосики хвоста. При этомъ оказывалось, что извѣстные тоны рога приводили отдѣльные волосики въ сильныя вибраціи, тогда какъ другіе тоны приводили въ вибраціи другіе волосики. Всякій волосокъ отвѣчалъ нѣсколькимъ нотамъ рога, и изъ воспроизводимыхъ нотъ можно было узнать приблизительно рядъ нижнихъ тоновъ одного и того же тона. Результаты не могли быть вполнѣ вѣрными, такъ какъ здѣсь долженъ былъ имѣть вліяніе резонансъ проводящаго аппарата.

Такъ одинъ изъ этихъ волосковъ отвѣчалъ сильно для *dis* и *dis'* слабѣе для *g*, очень слабо для *G*. Это заставляетъ предполагать, что его строй заключается между *d''* и *dis''*, затѣмъ онъ отвѣтилъ второму частному тону ноты *d—dis*, третьему *g—gis*, четвертому *d—dis* и шестому *G—Gis*. Другой волосокъ отвѣчалъ сильно для *ais* и сосѣднихъ тоновъ и слабѣе для *dis* и *Ais*. Повидимому его собственный тонъ былъ *ais*.

Посредствомъ этихъ наблюденій, для семейства ракообразныхъ животныхъ прямо доказывается существованіе тѣхъ же условій, какія мы предполагали для улитки человѣческаго уха. Это тѣмъ болѣе важно, что при скрытомъ положеніи и хрупкости соотвѣтствующихъ органовъ человѣческаго уха, мы имѣемъ мало надежды представить когда нибудь столь прямое доказательство различной настройки его отдѣльныхъ частицъ.

ОТДѢЛЪ ВТОРОЙ.

НАРУШЕНІЯ
ЗВУКОВАГО СОЧЕТАНІЯ.

КОМБИНАЦІОННЫЕ ТОНЫ И ДРОЖАНІЯ, КОНСОНАНСЪ И ДИССОНАНСЪ.

ГЛАВА VII.

Комбинаціонные тоны.

Въ первомъ отдѣлѣ этой книги былъ положенъ и постоянно примѣняемъ слѣдующій законъ: колебательныя движенія воздуха и другихъ упругихъ тѣлъ, воспроизводимыя многими одновременно дѣйствующими звуковыми источниками, равняются всегда въ точности суммѣ отдѣльныхъ движеній, воспроизводимыхъ отдѣльными звуковыми источниками. Этотъ законъ имѣетъ въ акустикѣ первостепенное значеніе, потому что онъ сводитъ разсмотрѣніе сложныхъ случаевъ къ разсмотрѣнію простыхъ; однако слѣдуетъ замѣтить, что это въ строгомъ смыслѣ примѣнимо только тамъ, гдѣ колебанія имѣютъ безконечно малую величину во всѣхъ точкахъ окружающаго насъ воздуха и звучащихъ упругихъ тѣлъ, гдѣ слѣдовательно измѣненія плотности упругихъ тѣлъ такъ малы, что будучи сравниваемы съ нормальною плотностью тѣхъ же тѣлъ, не принимаются во вниманіе и гдѣ точно также безконечно малы перемѣщенія колеблющихся частей, при сравненіи ихъ съ размѣрами всей упругой массы. Правда, что въ практическихъ приложеніяхъ этого закона къ звучащимъ тѣламъ, колебанія почти всегда весьма малы и достаточно близки къ безконечно малому для того, чтобы этотъ законъ остался также съ большимъ приближеніемъ вѣрнымъ для дѣйствительныхъ звуковыхъ колебаній музыкальныхъ тоновъ, и чтобы большая часть этихъ явленій, совпадая съ наблюденіемъ, могла бы быть выведена изъ этого закона. Однако существуютъ извѣстныя явленія, происходящія оттого, что законъ, будучи совершенно точенъ для безконечно малыхъ колебаній, не совершенно примѣнимъ къ весьма малымъ колебаніямъ *). Одно изъ этихъ интересующихъ насъ здѣсь явленій суть комбинаціонные тоны, впервые открытые нѣмецкимъ органистомъ

---

*) Helmholtz о комбинаціонныхъ тонахъ въ Poggendorff's Annalen Bd. XCIX, S. 497. Monatsberichte der Berliner Akademie, 22 Mai 1856. Извлеченіе изъ этого въ приложеніи XII.

Соргомъ (Sorge) въ 1740 *) и сдѣлавшіеся впослѣдствіи болѣе извѣстными, хотя отчасти и съ невѣрными обозначеніями высотъ, благодаря италіянскому скрипачу Тартини; поэтому ихъ также называютъ часто тонами Тартини.

Эти комбинаціонные тоны слышать въ томъ случаѣ, когда воспроизводятъ вмѣстѣ сильно и съ равномѣрною выдержкою два музыкальныхъ тона различной высоты. Высота комбинаціонныхъ тоновъ вообще отличается какъ отъ высоты начальныхъ тоновъ, такъ и отъ высоты ихъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ. Поэтому, во время опытовъ, комбинаціонные тоны отличаютъ отъ послѣднихъ просто тѣмъ, что при отдѣльномъ воспроизведеніи одного изъ начальныхъ тоновъ, комбинаціонныхъ тоновъ несуществуетъ; они проявляются только тогда, когда оба начальные тона воспроизводятся одновременно. Комбинаціонные тоны раздѣляются на два разряда. Первый разрядъ, открытый Соргомъ и Тартини, который я назвалъ разностными тонами, характеризуется тѣмъ, что ихъ числа колебаній равны разностямъ чиселъ колебаній начальныхъ тоновъ. Второй разрядъ, суммовые тоны, открыты мною; ихъ числа колебаній равны суммѣ чиселъ колебаній начальныхъ тоновъ.

При наблюденіи комбинаціонныхъ тоновъ двухъ сложныхъ звуковъ находятъ, что какъ основные тоны этихъ звуковъ, такъ и ихъ верхніе гармоническіе тоны могутъ воспроизводить другъ съ другомъ, какъ суммовые, такъ и разностные тоны. Слѣдовательно въ такомъ случаѣ, число наличныхъ комбинаціонныхъ тоновъ весьма велико. Однако слѣдуетъ замѣтить, что разностные тоны вообще сильнѣе суммовыхъ и что сильнѣйшіе начальные тоны даютъ также сильнѣйшіе комбинаціонные тоны; кромѣ того комбинаціонные тоны возрастаютъ въ гораздо большемъ отношеніи, чѣмъ начальные тоны и скорѣе ихъ ослабляются. Такъ какъ въ музыкальныхъ звукахъ основной тонъ обыкновенно значительно превышаетъ силою верхніе тоны, то комбинаціонные тоны обоихъ начальныхъ тоновъ, а именно ихъ разностные тоны, поражаютъ ухо сильнѣе всѣхъ другихъ; поэтому то они и были также открыты ранѣе. Они слышимы лучше всего въ томъ случаѣ, когда оба начальные тона отстоятъ другъ отъ друга менѣе чѣмъ на одну октаву; при этомъ разностный тонъ основныхъ тоновъ ниже обоихъ начальныхъ тоновъ. Чтобы услышать разностный тонъ, пусть выберутъ два звука, которые могутъ быть воспроизведены сильно и продолжительно, образуя между собою гармоническій интервалъ вѣрной настройки и меньшій октавы. Сначала изъ двухъ звуковъ воспроизводятъ низшій, а затѣмъ уже высшій. При должномъ

*) Vorgemach musicalischer Composition.

вниманіи замѣтятъ, что въ то мгновеніе, когда присоединяется высшая нота, становится также слышнымъ слабый нижайшій тонъ, который и есть именно искомый комбинаціонный тонъ. Въ отдѣльныхъ инструментахъ, напр. на гармоніонѣ, можно также сдѣлать слышимыми комбинаціонные тоны, посредствомъ соотвѣтственно настроенныхъ шаровъ-резонаторовъ. Здѣсь они воспроизводятся въ воздушной средѣ инструмента. Но въ другихъ случаяхъ, гдѣ они воспроизводятся только въ ухѣ, шары-резонаторы помогаютъ немного или же совершенно не помогаютъ.

Слѣдующая таблица даетъ первые разностные тоны обыкновенныхъ гармоническихъ интерваловъ:

Интервалы.	Отношеніе колебаній.	Разность.	Комбинаціонный тонъ ниже низшаго начальнаго тона на:
Октава	1 : 2	1	однозвучіе,
Квинта	2 : 3	1	октаву,
Кварта	3 : 4	1	дуодециму,
Большая терція . .	4 : 5	1	2 октавы,
Малая терція. . . .	5 : 6	1	2 октавы и большую терцію,
Большая секста . .	3 : 5	2	квинту,
Малая секста. . . .	5 : 8	3	большую сексту.

или же въ нотномъ письмѣ, гдѣ начальные тоны показаны половинами а комбинаціонные тоны четвертями:

Когда привыкнутъ разслушивать комбинаціонные тоны вѣрныхъ интерваловъ и длящихся тоновъ, то научаются ихъ также распознавать въ диссонирующихъ интервалахъ и въ быстро замирающихъ тонахъ фортепіано. Комбинаціонные тоны диссонирующихъ интерваловъ распознаются труднѣе оттого, что они находятся въ болѣе или менѣе сильныхъ дрожаніяхъ, происхожденіе которыхъ мы объяснимъ впослѣдствіи. Комбинаціонные тоны быстро замирающихъ тоновъ, каковы напр. тоны фортепіано, достаточно сильны для того, чтобы ихъ явственно разслышать только въ первое мгновеніе и замираютъ

даже скорѣе начальныхъ тоновъ; поэтому то комбинаціонные тоны слышать вообще легче при простыхъ тонахъ камертоновъ и закрытыхъ органныхъ трубокъ, чѣмъ при сложныхъ звукахъ, въ которыхъ уже имѣется большое число другихъ побочныхъ тоновъ. Послѣдніе, какъ уже было упомянуто, даютъ также еще нѣкоторое число разностныхъ тоновъ, образуемыхъ верхними гармоническими тонами и легко отвлекающихъ вниманіе отъ разностнаго тона начальныхъ тоновъ. Подобнаго рода комбинаціонные тоны, образуемые верхними тонами, слышатъ особенно часто на скрипкѣ и на гармоніонѣ.

Примѣръ: Возьмемъ большую терцію *c' e'*, отношеніе чиселъ 4 : 5. Первый разностный тонъ 1, т. е. *C*. Первый верхній гармоническій тонъ *c'* есть *c''* съ числомъ колебаній 8. Онъ даетъ съ *e'* разность 3, т. е. *g*. Первый верхній гармоническій тонъ *e'* есть *e''* съ числомъ колебаній 10; онъ даетъ съ *c'* или 4 разность 6, т. е. *g'*. Затѣмъ *c''* и *e''* даютъ комбинаціонный тонъ 2, т. е. *c*. Слѣдовательно мы получаемъ рядъ комбинаціонныхъ тоновъ 1, 3, 6, 2 или *C*, *g*, *g'*, *c*, посредствомъ первыхъ верхнихъ тоновъ. Изъ нихъ легче всего воспринимается тонъ *g*.

Эти разнородные комбинаціонные тоны обыкновенно явственно слышимы только тогда, когда начальные звуки содержатъ явственно слышимые верхніе гармоническіе тоны. Однако нельзя предположить, чтобы первыхъ недоставало совершенно тамъ, гдѣ отсутствуютъ послѣдніе; только они тогда такъ слабы, что ухо не распознаетъ ихъ съ легкостью при сильныхъ начальныхъ тонахъ и первомъ разностномъ тонѣ. Теорія во всякомъ случаѣ даетъ возможность заключить, что они присутствуютъ въ слабомъ видѣ, а дрожанія фальшивыхъ гармоническихъ интерваловъ, о которыхъ будетъ говориться впослѣдствіи, также указываютъ на ихъ существованіе. Въ этихъ случаяхъ воспроизведеніе разнородныхъ комбинаціонныхъ тоновъ можно себѣ представить также, какъ полагалъ Гальстремъ *) такъ, что первый разностный тонъ, комбинаціонной тонъ перваго порядка даетъ самъ снова съ начальными тонами разностные тоны, комбинаціонные тоны втораго порядка, а эти снова новые съ начальными тонами и тонами перваго порядка и т. д.

Примѣръ. Если мы снова предположимъ что два простые тона въ отношеніи 4 : 5, именно *c'* и *e'* звучатъ вмѣстѣ, то разностный тонъ перваго порядка 1 или *C*. Этотъ послѣдній даетъ съ начальными тонами 4 и 5 разностные тоны втораго порядка 3 и 4, *g* и вторичное *c'*. Новый тонъ 3 даетъ съ начальными тонами 4 и 5 тоны третьяго порядка 1 и 2, *C* и *c*, съ тономъ перваго порядка 1 тонъ четвертаго порядка 2, именно второе *c* и т. д. Тоны различныхъ порядковъ, которые совпадаютъ въ этомъ

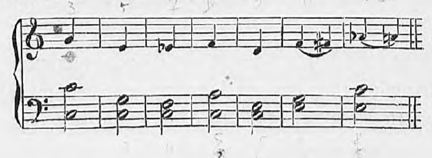
*) Poggendorff's Annalen. Bd. XXIV, S. 438.

примѣрѣ, предполагая абсолютно вѣрную настройку, уже болѣе вполнѣ не совпадаютъ, когда настройка начальнаго интервала не вполнѣ вѣрна; въ этомъ случаѣ отъ присутствія этихъ тоновъ происходятъ дрожанія. Объ этомъ будетъ сказано болѣе подробно впослѣдствіи.

Здѣсь слѣдуютъ системы разностныхъ тоновъ различныхъ порядковъ для различныхъ интерваловъ. Начальные тоны изображены половинами, комбинаціонные тоны перваго порядка четвертями, втораго порядка восьмыми и т. д. Въ сложныхъ звукахъ тѣ же тоны проявляются какъ комбинаціонные тоны верхнихъ гармоническихъ тоновъ.

Ряды прерываются тотчасъ же, какъ послѣдній порядокъ не даетъ болѣе новыхъ тоновъ. Вообще этотъ обзоръ обнаруживаетъ, что рядъ гармоническихъ тоновъ 1, 2, 3, 4, 5, и т. д. вполнѣ востановляется до начальныхъ тоновъ.

Второй родъ комбинаціонныхъ тоновъ, которые я назвалъ суммовыми, имѣютъ вообще гораздо меньшую силу, чѣмъ разностные тоны, и слышимы легко только при особенно благопріятныхъ условіяхъ, именно на гармоніонѣ и въ многоголосной сиренѣ. Изъ нихъ могутъ быть воспринимаемы почти что только первые, коихъ число колебаній равняется суммѣ чиселъ колебаній начальныхъ тоновъ. Естественно, что могутъ существовать также и суммовые тоны верхнихъ гармоническихъ тоновъ; такъ какъ ихъ число колебаній постоянно равно суммѣ чиселъ колебаній начальныхъ тоновъ, то они всегда выше послѣднихъ. Для простыхъ интерваловъ они представляются въ слѣдующемъ порядкѣ:



Въ обоихъ послѣднихъ интервалахъ суммовые тоны лежатъ между обоими выше данными тонами. Въ музыкальномъ отношеніи я обращу вниманіе на то, что многіе изъ этихъ суммовыхъ тоновъ образуютъ съ начальными тонами весьма не гармоническіе интервалы. Если бы они въ большей части инструментовъ не были весьма слабыми, то они бы давали крайне нарушающіе диссонансы. Въ многоголосной сиренѣ, гдѣ всѣ комбинаціонные тоны проявляются особенно сильно, большая и малая терція и малая секста звучатъ весьма непріятно, тогда какъ октава, квинта и большая секста звучатъ весьма благозвучно; на сиренѣ кварта производитъ впечатлѣніе посредственно звучащаго септаккорда.

Комбинаціонные тоны принимали прежде за явленіе чисто субъективное и предполагали, что они сперва проявляются въ самомъ ухѣ. Тогда знали только разностные тоны и ставили ихъ въ одну категорію съ дрожаніями, которыя обыкновенно даютъ два совмѣстно звучащихъ тона весьма мало разнящейся высоты; это явленіе мы изслѣдуемъ въ слѣдующихъ главахъ подробнѣе. Полагали, что если бы такія дрожанія были достаточно быстры, то отдѣльныя возрастанія силы тона могли бы произвести ощущенія новаго тона, коего число колебаній равнялось бы числу дрожаній, совершенно также, какъ это бы воспроизвело такое же число обыкновенныхъ простыхъ воздушныхъ толчковъ; но этотъ взглядъ не объясняетъ во первыхъ происхожденія суммовыхъ тоновъ, а только разностныхъ тоновъ, во вторыхъ можетъ быть доказано, что при нѣкоторыхъ условіяхъ, комбинаціонные тоны существуютъ объективно, независимо отъ уха, которое при этомъ взглядѣ должно было бы сложить дрожанія въ одинъ новый тонъ и въ третьихъ, этотъ взглядъ не можетъ согласоваться съ закономъ, подтвержденнымъ всѣми другими изслѣдованіями, что ухо ощущаетъ только тѣ тоны, которые соотвѣтствуютъ простымъ маятникообразнымъ движеніямъ воздуха.

Относительно происхожденія комбинаціонныхъ тоновъ можетъ быть въ дѣйствительности указана другая причина, которая уже была упомянута въ общихъ чертахъ выше. Именно, если колебанія воздуха или другаго упругаго тѣла, приводимаго въ движеніе обоими начальными тонами одновременно, становятся такъ сильны, что колебанія не могутъ быть разсматриваемы, какъ безконечно малыя, то, какъ доказываетъ математическій анализъ, должны произойдти такія колебанія, коихъ высота соотвѣтствуетъ комбинаціоннымъ тонамъ.

Нѣкоторые инструменты даютъ особенно сильные комбинаціонные тоны. Условіе для ихъ проявленія то, чтобы приводилась въ сильное сотрясеніе обоими тонами одна и таже масса воздуха. Это

происходитъ съ наибольшею силою въ многоголосной сиренѣ, въ которой тотъ же самый вращающійся кружекъ содержитъ два или нѣсколько рядовъ отверстій, которыя одновременно вдуваются изъ одной и той же коробки*). Воздухъ коробки сгущается каждый разъ, какъ закрываютъ отверстія; когда же они открываются, то значительная часть воздуха устремляется въ свободное пространство, что производитъ значительное уменьшеніе давленія. Такимъ образомъ масса воздуха заключающаяся въ коробкѣ и частью въ мѣхахъ приходитъ, какъ это можно легко ощущать на послѣднихъ, въ сильныя колебанія. Если будутъ вдуваемы два ряда отверстій, соотвѣтственно обоимъ тонамъ, то такія колебанія образуются въ воздушной массѣ коробки; чрезъ каждый рядъ отверстій не вырывается равномѣрно истекающій токъ воздуха, а такой, который уже приведенъ въ колебанія другимъ тономъ. При этихъ условіяхъ комбинаціонные тоны чрезвычайно сильны, почти также какъ и начальные тоны. Посредствомъ колеблющихся перепонокъ, находящихся въ однозвучіи съ комбинаціонными тонами, можно доказать, что эти тоны существуютъ объективно въ массѣ воздуха. Такія перепонки приводятся въ соколебаніе тотчасъ же, какъ воспроизведутъ одновременно оба начальные тона, а не тогда, когда издаютъ только одинъ изъ начальныхъ тоновъ. Въ этомъ случаѣ и суммовые тоны также такъ сильны, что они дѣлаютъ крайне непріятными аккорды, въ которыхъ попадаются терціи или малыя сексты. Вмѣсто перепонокъ удобнѣе употреблять резонаторы, которые я предлагалъ для изслѣдованія верхнихъ гармоническихъ тоновъ. Эти резонаторы также могутъ усиливать только одинъ тонъ, коего соотвѣтствующее маятникообразное колебаніе содержится въ воздушной средѣ, а не тотъ, который существуетъ только въ ощущеніи уха; поэтому ихъ можно употреблять для того, чтобы узнать существуетъ ли комбинаціонный тонъ объективно. Они гораздо чувствительнѣе перепонокъ и пригодны для явственнаго распознаванія весьма слабыхъ объективныхъ тоновъ.

На гармоніонѣ происходитъ подобное же, какъ и съ сиреною. Здѣсь также имѣется масса воздуха, и при ударѣ двухъ клавишь мы имѣемъ также два отверстія, которыя ритмически открываются и закрываются посредствомъ язычковъ. Здѣсь воздухъ сотрясается въ общемъ резервуарѣ обоими тонами также сильно и чрезъ каждое отверстіе вдувается струя, приведенная въ колебательное движеніе посредствомъ другаго язычка; поэтому комбинаціонные тоны содержатся въ этомъ инструментѣ объективно и относительно весьма яв-

---

*) Такой приборъ будетъ описанъ точнѣе въ слѣдующей главѣ.

ственно, но они далеко не такъ сильны какъ въ сиренѣ, по всей вѣроятности потому, что духовой ящикъ чрезвычайно великъ относительно отверстій и потому, что во время короткаго открыванія отверстія чрезъ колеблющійся язычекъ не можетъ выходить такъ много воздуха, чтобы замѣтно уменьшить давленіе. Комбинаціонные тоны слышимы также весьма явственно усиленными на гармоніонѣ посредствомъ резонаторовъ одинаковой съ ними настройки, въ особенности же хорошо слышимы первый и второй разностные тоны и первый суммовой тонъ. Между тѣмъ я убѣдился особыми опытами, что и въ инструментѣ, о которомъ идетъ рѣчь, большая часть силы комбинаціоннаго тона образуется только въ ухѣ. Я направилъ теченіе вѣтра въ инструментѣ такъ, что одинъ изъ тоновъ снабжался воздухомъ изъ нижнихъ мѣховъ, приводимыхъ въ движеніе ногою а другой воздухомъ резервнаго мѣха, предварительно наполненнаго воздухомъ и замкнутаго; затѣмъ вытягиваніемъ, такъ называемой экспрессіи, я находилъ, что комбинаціонные тоны не особенно слабѣе, чѣмъ при обыкновенномъ приспособленіи; но ихъ объективная часть, которая можетъ быть усилена резонаторами, была дѣйствительно значительно слабѣе. По выше данному обзору комбинаціонныхъ тоновъ, можно будетъ легко найдти клавиши, которыя слѣдуетъ ударить для того, чтобы воспроизвести комбинаціонный тонъ, усиливающійся посредствомъ данной трубки резонатора.

Если, напротивъ, мѣста возбужденій обоихъ тоновъ совершенно отдѣлены другъ отъ друга и не имѣютъ никакой механической связи, слѣдовательно, если напр. тонъ издается двумя голосами или двумя отдѣльными духовыми инструментами, или двумя скрипками, то усиленіе комбинаціонныхъ тоновъ посредствомъ трубокъ-резонаторовъ слабо и сомнительно. Слѣдовательно, въ воздушной средѣ здѣсь не имѣется для явственнаго воспріятія маятникообразнаго движенія, соотвѣтствующаго комбинаціонному тону и мы должны заключить, что комбинаціонные тоны, которые иногда значительно сильны, дѣйствительно образуются первоначально въ ухѣ. Но по аналогіи предъидущихъ случаевъ мы имѣемъ право также допустить и здѣсь, что для воспроизведенія комбинаціоннаго тона, внѣшнія колеблющіяся части уха, именно барабанная перепонка и слуховыя косточки, прежде всего суть тѣ, которыя приводятся въ достаточно сильное сложное колебаніе, такъ что слѣдовательно колебанія, соотвѣтствующія комбинаціоннымъ тонамъ, могутъ дѣйствительно существовать объективно въ частяхъ уха, не существуя объективно въ воздушной средѣ; поэтому небольшое усиленіе комбинаціоннаго тона посредствомъ соотвѣтствующаго резонатора можетъ и въ этомъ случаѣ произойдти отъ того, что барабанная перепонка

передастъ воздушной массѣ резонатора такія колебанія, которыя соотвѣтствуютъ комбинаціонному тону.

Дѣйствительно, въ конструкціи наружныхъ передающихъ звукъ частей уха имѣются также извѣстныя условія, которыя кажутся особенно благопріятными для возбужденія комбинаціонныхъ тоновъ. Сначала принимается во вниманіе несимметричное строеніе барабанной перепонки. Ея выпуклыя радіальныя волокна, направленныя кнаружи, будутъ испытывать сильнѣйшее измѣненіе напряженія, когда они исполнятъ колебаніе умѣренной амплитуды квнутри, чѣмъ тогда, когда колебаніе идетъ кнаружи. Для этой цѣли амплитуда колебанія должна только составлять не слишкомъ малую дробную часть незначительной глубины изгиба дуги этихъ радіальныхъ волоконъ. При этихъ обстоятельствахъ образуются отклоненія отъ простаго сложенія колебаній уже при гораздо меньшихъ амплитудахъ, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда колеблющееся тѣло симметрично *).

Но мнѣ кажется еще болѣе важнымъ свободное состояніе суставца молоточка и наковальни, въ особенности же при сильныхъ тонахъ. Если рукоятка молоточка съ барабанною перепонкою вгоняются квнутри, то наковольня и стремя должны безусловно слѣдовать этому движенію; но если за этимъ слѣдуетъ движеніе рукоятки кнаружи, при чемъ задерживающіеся зубчики обѣихъ косточекъ могутъ одинъ отъ другаго разъединиться, то наковальня и стремя не должны слѣдовать этому движенію. При этомъ косточки могутъ другъ о дружку стучать. Подобное стучаніе, какъ мнѣ кажется, я постоянно слышу въ собственномъ ухѣ каждый разъ, какъ къ нему проводится весьма сильный, въ особенности же низкій тонъ, а также если это напр. тонъ камертона, который держатъ между пальцами и на которомъ не находится безусловно ничего звенящаго.

Это особенное чувство механическаго шума въ ухѣ меня уже давно поражало, когда слѣдовали терціями два сильные и чистые голоса сопрано, при чемъ комбинаціонный тонъ выходилъ весьма ясно. Если фазы обоихъ тоновъ между собою располагаются такъ, что послѣ каждаго четвертаго колебанія нижайшаго тона и послѣ каждаго пятаго колебанія высшаго происходитъ сильное колебаніе кнаружи барабанной перепонки, достаточно сильное для того, чтобы причинить мгновенное освобожденіе суставца молоточка и наковальни, то между обѣими косточками произойдетъ отъ этаго рядъ тол-

*) Смотри мною выше цитированную статью о комбинаціонныхъ тонахъ и приложеніе XII. При несимметричномъ строеніи колеблющихся тѣлъ, нарушенія пропорціональны 1-й степени амплитуды, а при тѣлахъ симметричнаго строенія, они пропорціональны только 2-й степени этой же, все еще малой, величины.

чковъ, которыхъ бы не было при крѣпкомъ соединеніи и равномѣрномъ колебаніи и которые, взятые вмѣстѣ, произвели бы какъ разъ первый разностный тонъ упомянутаго интервала терціи. Подобное же происходитъ и при другихъ интервалахъ.

Впрочемъ слѣдуетъ замѣтить, что тѣ же условія конструкціи колеблющагося тѣла, которыя приспособляютъ его дѣлать слышимыми комбинаціонные тоны, когда оно возбуждается двумя различно высокими рядами волнъ тоновъ, должны также причинять то, что въ немъ отдѣльный простой тонъ долженъ возбудить колебанія, соотвѣтствующія его верхнимъ гармоническимъ тонамъ, совершенно также, какъ будто бы этотъ тонъ образовывалъ самъ съ собою суммовые тоны.

Дѣло въ томъ, что просто періодическая сила, соотвѣтствующая простымъ маятникообразнымъ колебаніямъ, возбуждаетъ въ упругомъ тѣлѣ, на которое она дѣйствуетъ, простыя синусовидныя колебанія только тогда и до тѣхъ поръ, пока упругія силы, возбужденныя уклоненіями возбужденнаго тѣла отъ его положенія равновѣсія, сами останутся пропорціональными этимъ уклоненіямъ, что всегда и бываетъ при ихъ безконечно малой величинѣ. Если же амплитуды колебаній становятся такъ велики, что наступятъ замѣтныя уклоненія отъ этой пропорціональности, то къ колебаніямъ возбужденнаго тона присоединяются еще такія, которыя отвѣчаютъ его верхнимъ гармоническимъ тонамъ. Я уже упомянулъ прежде, что подобные верхніе гармоническіе тоны иногда встрѣчаются при сильномъ возбужденіи камертоновъ.

Человѣческое ухо должно будетъ совершать тоже самое именно потому, что оно такъ легко образуетъ комбинаціонные тоны, и въ этомъ заключается причина, почему каждый сильный простой тонъ долженъ быть сопровождаемъ при его ощущеніи весьма слабыми верхними гармоническими тонами.

Впослѣдствіи окажется, какую важную роль играютъ комбинаціонные тоны при составленіи аккордовъ. Прежде чѣмъ къ этому перейдти, мы должны изслѣдовать второе явленіе звуковаго сочетанія двухъ тоновъ, а именно дрожанія.

ГЛАВА VIII.

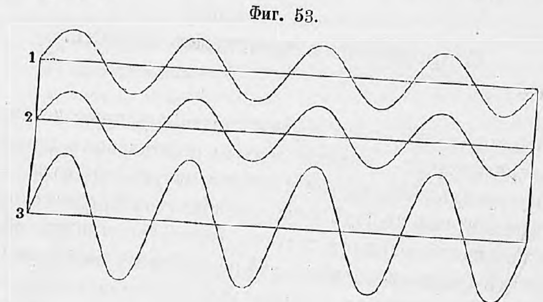
О дрожаніяхъ простыхъ тоновъ.

Мы переходимъ теперь къ другимъ явленіямъ при сочетаніи двухъ тоновъ, при которыхъ движенія воздуха и остальныхъ двигающихся съ нимъ упругихъ тѣлъ, внутри и внѣ уха, могутъ быть во всякомъ случаѣ воспринимаемы въ видѣ ненарушеннаго совмѣстнаго существованія обѣихъ колебательныхъ системъ, соотвѣтствующихъ обоимъ тонамъ, но гдѣ однако ощущеніе въ ухѣ не отвѣчаетъ болѣе суммѣ обоихъ ощущеній, которыя возбуждаются отдѣльно обоими тонами. Комбинаціонные тоны существенно отличаются отъ разсматриваемыхъ въ этой главѣ дрожаній тѣмъ, что въ первыхъ сложеніе колебаній колеблющихся упругихъ тѣлъ, внутри или внѣ уха, претерпѣваетъ измѣненія, тогда какъ ухо разлагаетъ окончательно, проведенное къ нему движеніе, по обыкновенному закону на простые тоны. Напротивъ, при дрожаніяхъ, объективныя движенія упругихъ тѣлъ слѣдуютъ простому закону, но сложеніе ощущеній не происходитъ безъ нарушеній. Пока въ ухо попадаютъ нѣсколько тоновъ, коихъ высоты достаточно различны другъ отъ друга, ощущенія этихъ послѣднихъ могутъ существовать другъ возлѣ друга совершенно ненарушенными, потому что этимъ, по всей вѣроятности, поражаются совершенно различныя нервныя волокна. Но тоны одинаковой или почти одинаковой высоты, которые поражаютъ тѣже нервныя волокна, не даютъ просто сумму ощущеній, которую бы давалъ самъ по себѣ каждый отдѣльный звукъ, но здѣсь проявляются новыя и особенныя явленія, которыя мы обозначаемъ названіемъ интерференціи, когда они воспроизводятся двумя одинаковыми тонами и названіемъ дрожаній, когда они воспроизводятся посредствомъ двухъ почти одинаковыхъ тоновъ.

Мы сначала опишемъ явленіе интерференціи. Представимъ себѣ какую нибудь точку въ воздухѣ или въ ухѣ, приведенную въ движеніе звуковымъ источникомъ, и представимъ себѣ это движеніе изображеннымъ кривою 1, фиг. 53. Пусть движеніе, вызываемое вто-

рымъ звуковымъ источникомъ и изображенное кривою 2, будетъ совершенно тоже самое въ тѣже промежутки времени, такъ чтобы возвышенія кривой 2 совпадали съ возвышеніями кривой 1, а углубленія съ углубленіями. Если оба звуковые источника дѣйствуютъ одновременно, то общее движеніе будетъ суммою обоихъ движеній, изображенное кривою 3 такого же рода какъ и первыя, но съ вдвое большими возвышеніями и съ вдвое большими углубленіями каждой изъ первыхъ.

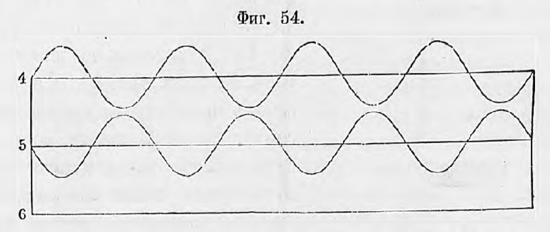
Фиг. 53.



Такъ какъ силу Звука слѣдуетъ положить пропорціональною квадрату амплитуды размаха, то мы при этомъ получимъ тонъ не удвоенной, а учетверенной силы. Пусть теперь себѣ представятъ колебанія втораго звуковаго источника перемѣщенными на половину продолжительности колебанія, тогда слагаемыя колебанія будутъ стоять другъ подъ другомъ, какъ кривыя 4 и 5 Фиг. 54, и если мы ихъ сложимъ, то возвышенія второй кривой будучи равны возвышеніямъ первой, но взятыхъ съ противоположнымъ знакомъ, будутъ между собою взаимно уничтожаться и ихъ сумма, изображенная прямою линіею 6, будетъ равна нулю. Здѣсь возвышенія кривой 4 слагаются съ углубленіями кривой 5 и наоборотъ; возвышенія, наполняя углубленія, взаимно уничтожаются. Слѣдовательно, сила Звука сдѣлается равною нулю и если подобное прекращеніе движенія происходитъ внутри уха, то ощущеніе прекращается, и въ то время какъ каждый отдѣльный, дѣйствующій самъ по себѣ, звуковой источникъ вызываетъ ощущеніе тожественное другому источнику, оба они, дѣйствуя вмѣстѣ, не даютъ никакого ощущенія. Въ этомъ случаѣ Звукъ вполнѣ уничтожаетъ равный ему Звукъ. Это кажется обыкновенному умозрѣнію необыкновенно парадоксальнымъ, такъ какъ естественное сознаніе не представляетъ себѣ подъ словомъ Звукъ движенія воздушныхъ частицъ, но нѣчто дѣйствительное, аналогичное съ ощущеніемъ Звука. Такъ какъ ощущеніе тона постоянной высоты не обнаруживаетъ противуположностей положительнаго и отрицательнаго,

то естественно, что кажется невозможнымъ, чтобы положительное ощущеніе могло уничтожить отрицательное. Но въ данномъ случаѣ

Фиг. 54.



между собою взаимно уничтожаются, дѣйствующіе на ухо толчки, передаваемые обоими звуковыми источниками. Если они происходятъ такъ, что толчки одного звуковаго источника постоянно совпадаютъ съ противуположными толчками другаго звуковаго источника и если они совершенно уравновѣшиваются, то въ ухѣ не можетъ произойдти никакого движенія и слуховой нервъ ощущать ничего не можетъ.

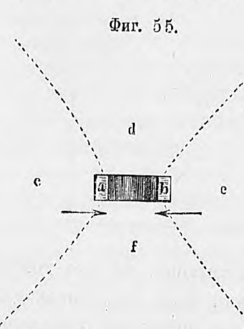
Я хочу здѣсь привести нѣсколько примѣровъ такихъ случаевъ, въ которыхъ одинъ Звукъ уничтожаетъ другой:

1) Пусть поставятъ на духовой ящикъ совершенно рядомъ двѣ вполнѣ одинаково сдѣланныя и одинаково настроенныя закрытыя органныя трубки. Каждая изъ нихъ, будучи вдуваема отдѣльно, даетъ сильный тонъ; но если вдуваютъ обѣ одновременно, то движеніе воздуха обѣихъ трубокъ прилаживается одно къ другому такимъ образомъ, что въ то время, когда въ одну изъ нихъ входитъ воздухъ онъ выходитъ изъ другой, и поэтому для уха болѣе отдаленнаго наблюдателя онѣ не даютъ тона, а только шумъ; если же поднести бородку пера близь губы трубки, то эта послѣдняя обнаруживаетъ тѣже колебанія, какъ будто бы каждая трубка вдувалась отдѣльно; или же, если направить приставленную къ уху трубочку къ отверстію одной изъ трубокъ, то звукъ этой трубки слышатъ настолько сильнѣе, что онъ не можетъ быть болѣе совершенно уничтоженъ звукомъ другой трубки.

Каждый камертонъ представляетъ также явленія интерференціи, которыя происходятъ отъ того, что обѣ вѣтви дѣлаютъ противоположныя движенія. Если ударяютъ камертонъ, приближаютъ его къ уху и вращаютъ около длинной оси, то находятъ, что существуютъ четыре положенія камертона, въ которыхъ явственно слышатъ его тонъ, тогда какъ въ четырехъ промежуточныхъ положеніяхъ его тонъ становится неслышимымъ. Четыре положенія сильнѣйшаго Звука суть тѣ, гдѣ къ уху обращена или одна изъ вѣтвей, или одна изъ

обѣихъ боковыхъ поверхностей камертона. Положенія, не дающія Звука, лежатъ между только что упомянутыми положеніями приблизительно въ плоскостяхъ, которые идутъ чрезъ ось камертона подъ угломъ въ 45°, относительно плоскостей вѣтвей. Если въ фиг. 55 a и b изображаютъ оконечности вѣтвей камертона смотря на нихъ сверху, то c, d, e и f суть мѣста сильнѣйшаго Звука, а пунктирныя линіи изображаютъ, напротивъ, положеніе покоя. Стрѣлки, показанныя ниже a и b, обозначаютъ одновременное направленіе движенія обѣихъ вѣтвей. Слѣдовательно, въ то время, какъ вѣтвь a сообщаетъ сосѣдней массѣ воздуха въ c толчекъ для движенія въ направленіи ca, вѣтвь b дѣлаетъ противоположное. Оба толчка уничтожаются только частью въ c, потому что a дѣйствуетъ сильнѣе b. Напротивъ, пунктирныя линіи обозначаютъ мѣста, гдѣ противоположные толчки отъ a и b имѣютъ равныя силы и поэтому вполнѣ уничтожаются. Если установить ухо въ такомъ мѣстѣ, гдѣ оно ничего не слышитъ и закрыть a или b узенькою трубочкою такъ, чтобы она не дотрогивалась до колеблющихся вѣтвей, то Звукъ становится тотчасъ же громче, такъ какъ вліяніе закрытой вѣтви этимъ почти устраняется, а другая можетъ дѣйствовать одна безпрепятственно.

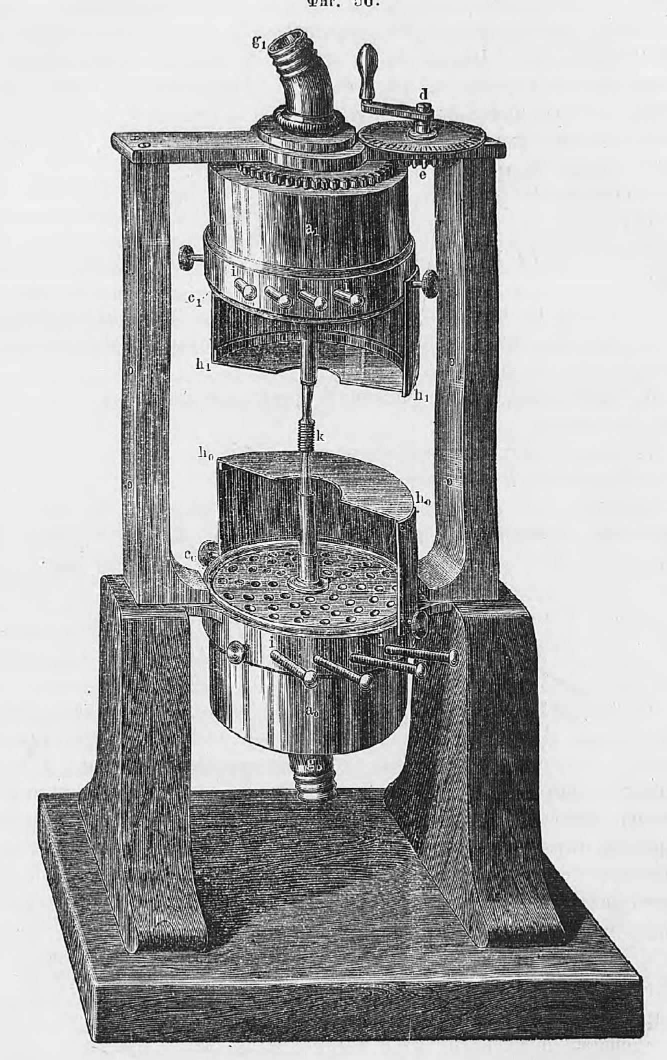
Фиг. 55.



Для доказательства упомянутыхъ свойствъ весьма удобна двойная сирена, изготовленная по моимъ указаніямъ *). На фиг. 56 дано ея перспективное изображеніе. Она составлена изъ двухъ многоголосныхъ сиренъ Дове, о которой уже было упомянуто; a_0 и a_1 изображаютъ коробки, c_0 и c_1 круги, которые укрѣплены на общей оси, на которой находится винтъ k для того, чтобы приводить въ движеніе счётчикъ, который можетъ быть здѣсь приспособленъ; устройство такого счётчика было уже описано выше. Верхняя коробка a_1 можетъ быть сама вращаема вокругъ своей оси. Для этой цѣли она снабжена зубчатымъ колесомъ, которое зацѣпляетъ меньшее зубчатое колесо e, снабженное рукояткою d. Ось, вокругъ которой вращается коробка a_1, есть продолженіе верхней трубки g_1. На каждомъ изъ обоихъ круговъ сирены находится четыре ряда отверстій, которые могутъ быть вдуваемы отдѣльно или въ произвольномъ между

*) Эта сирена была сдѣлана механикомъ Сауэрвальдомъ (Sauervald) въ Берлинѣ.

Фиг. 56.



собою сочетанiи; при i находятся штифты, которые открываютъ ряды отверстiй посредствомъ особаго механизма*). Нижнiй кругъ имѣетъ четыре ряда въ 8, 10, 12 и 18 отверстiй; верхнiй кругъ имѣетъ ряды въ 9, 12, 15 и 16 отверстiй. Слѣдовательно, если мы назовемъ тонъ, происходящiй отъ вдуванiя 8 отверстiй, черезъ c, то нижнiй кругъ будетъ имѣть тоны c, e, g, d_1, а верхнiй d, g, h, c_1. Поэтому можно воспроизвести слѣдующiе интервалы:

1) Однозвучiе: gg одновременно на обоихъ кругахъ.

2) Октавы: cc_1 и dd_1 на обоихъ кругахъ.

3) Квинты: cg и gd_1 или на одномъ нижнемъ, или на обоихъ вмѣстѣ.

4) Кварты: dg и gc_1 на одномъ верхнемъ, или на обоихъ кругахъ.

5) Большiя терцiи: ce на нижнемъ, gh на верхнемъ кругѣ, послѣднюю также и на обоихъ.

6) Малыя терцiи: eg на нижнемъ кругѣ или на обоихъ кругахъ; hd_1 на обоихъ.

7) Цѣлые тоны: cd и c_1d_1 на обоихъ кругахъ.

8) Полутонъ: h c_1 на верхнемъ кругѣ.

Если оба тона вдуваются въ одинъ и тотъ же кругъ, то, какъ это уже было замѣчено въ предъидущихъ параграфахъ, объективные комбинацiонные тоны весьма сильны. Наоборотъ, если оба тона вдуваются въ различные круги, то комбинацiонные тоны слабы; въ послѣднемъ случаѣ для насъ особенно интересно то, что можно заставить одновременно дѣйствовать оба тона въ любой разности фазъ. Для этого надо только измѣнять положенiе верхней коробки.

Первоначально намъ слѣдуетъ только изслѣдовать явленiя однозвучiя gg. Происхожденiе интерференцiи обоихъ тоновъ усложняется въ этомъ случаѣ тѣмъ, что звуки сирены не простые, а сложенные тоны и тѣмъ, что интерференцiя отдѣльныхъ гармоническихъ тоновъ независима отъ интерференцiи какъ основнаго тона, такъ и отъ другихъ гармоническихъ. Для того, чтобы заглушать верхнiе гармоническiе тоны звука сирены посредствомъ надставной трубки, были изготовлены цилиндрическiе мѣдные футляры, заднiя половины которыхъ видны въ h_1 h_1 и h_0 h_0. Каждый изъ этихъ футляровъ состоитъ изъ двухъ половинъ, которыя можно снимать, снова приставлять и затѣмъ прикрѣплять посредствомъ винтовъ къ коробкѣ. Если тонъ сирены приближается къ основному тону этихъ футляровъ, то звукъ становится полонъ, силенъ и мягокъ, уподобляясь прiятному звуку рога, тогда какъ въ противномъ случаѣ, сирена имѣетъ тонъ довольно рѣзкiй. При этомъ требуется мало воздуха, но сильное давленiе. Это совершенно тѣ же условiя, какъ при язычкѣ, къ которому приспособлена надставная трубка, имѣющая съ нимъ одинаковую высоту тона. Употребляемая такимъ образомъ, сирена весьма удобна для опытовъ надъ интерференцiею. Если обѣ коробки расположены такъ, что воздушные толчки происходятъ съ обѣихъ сторонъ одновременно въ точности, то совпадаютъ одинаковыя фазы, какъ основнаго тона, такъ и всѣхъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ; всѣ они будутъ усилены.

*) Описанiе его въ приложенiи XIII.

Если повернуть рукоятку на 45°, что соотвѣтствуетъ повороту коробки на $^1/_6$ прямаго угла, или на $^1/_{24}$ окружности, или отвѣчаетъ половинному разстоянiю отверстiй во вдуваемомъ рядѣ въ 12 отверстiй, то разность фазъ обоихъ основныхъ тоновъ достигаетъ половины продолжительности колебанiя; воздушные толчки одной изъ коробокъ попадаютъ какъ разъ въ срединѣ между воздушными толчками другой коробки, и оба основные тона взаимно уничтожаются. Но разность фазъ ихъ высшихъ октавъ, при тѣхъ же условiяхъ, составляетъ продолжительность цѣлаго колебанiя, т. е. онѣ взаимно усиливаются, и такимъ же образомъ усиливаются въ томъ же положенiи всѣ четные верхнiе гармоническiе тоны, тогда какъ нечетные между собою взаимно уничтожаются. Слѣдовательно, при новомъ положенiи коробокъ тонъ становится слабѣе, потому что отпадаетъ нѣкоторое число его тоновъ; но онъ не совершенно прекращается, а скорѣе переходитъ въ свою октаву. Если рукоятку повернуть на вторую половину прямаго угла, такъ чтобы весь поворотъ составилъ прямой уголъ, то воздушные толчки обоихъ круговъ снова совершенно совпадутъ между собою, и тоны усилятся. Слѣдовательно, при полномъ поворотѣ рукоятки находятъ четыре положенiя, при которыхъ звукъ сирены кажется усиленнымъ и четыре промежуточныхъ положенiя, при которыхъ исчезаетъ основной тонъ со всѣми нечетными гармоническими тонами, отчего сила, происходящая только отъ высшей октавы и четныхъ гармоническихъ, становится слабѣе. Если обращаютъ вниманiе только на ближайшiй верхнiй гармоническiй тонъ, на октаву основнаго тона, прислушиваясь къ нему посредствомъ соотвѣтствующей трубки-резонатора, то находятъ, что онъ исчезаетъ послѣ поворота на $^1/_4$ прямаго угла и усиливается снова при поворотѣ на $^1/_2$ прямаго угла; слѣдовательно, при полномъ поворотѣ рукоятки онъ 8 разъ исчезаетъ и 8 разъ снова усиливается. Третiй тонъ, дуодецима основнаго тона, въ тоже время исчезаетъ 12 разъ, четвертый тонъ 16 разъ и т. д.

Подобно тому какъ въ сиренѣ, интерференцiя проявляется также и въ другихъ сложныхъ звукахъ, если заставляютъ дѣйствовать одновременно два однородныхъ звука, съ разностью одной половины про-

должительности колебанія; тонъ не угасаетъ, но переходитъ въ октаву. Если напр. ставятъ двѣ открытыя органныя трубки, или двѣ язычковыя трубки одинаковаго устройства и одинаковой настройки другъ возлѣ друга на тотъ же духовой ящикъ, то ихъ колебанія обыкновенно также происходятъ такъ, что токъ воздуха входитъ попеременно, то въ одну, то въ другую трубку, и въ то время, какъ звукъ закрытыхъ органныхъ трубокъ, имѣющихъ только нечетные тоны, совершенно исчезаетъ, въ открытыхъ органныхъ и въ язычковыхъ трубкахъ высшая октава усиливается. Въ этомъ и заключается причина, почему нельзя получить усиленія тона посредствомъ сочетанія однородныхъ язычковъ или однородныхъ трубокъ органа или гармоніона.

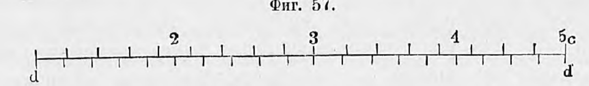
До сихъ поръ мы воспроизводили вмѣстѣ по два тона, которые имѣли совершенно одинаковую высоту; изслѣдуемъ теперь, что происходитъ, когда сочетаются два тона немного различной высоты. Вышеописанная двойная сирена опять-таки весьма удобна для того, чтобы дать въ этомъ случаѣ заключеніе. Дѣло въ томъ, что мы можемъ немного измѣнить высоту верхняго тона, если повернемъ медленно коробку посредствомъ рукоятки; а именно, тонъ становится ниже, если коробка поворачивается въ томъ же направленіи, въ какомъ поворачивается кругъ и дѣлается выше, если коробка поворачивается въ противоположномъ направленіи. Продолжительность колебанія тона сирены равна именно времени, которое употребляетъ отверстіе вращающагося круга для перехода отъ одного отверстія коробки къ другому. Если при вращеніи коробки ея отверстіе идетъ на встрѣчу отверстію круга, то оба отверстія сойдутся раньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда коробка остается въ покоѣ; продолжительность колебанія становится короче и тонъ выше. При противоположномъ вращеніи коробки происходитъ обратное. Эти повышенія и пониженія тона слышатъ весьма легко, когда коробку вращаютъ немного скорѣе. Если въ обоихъ подвижныхъ кругахъ производятъ тоны рядовъ въ двѣнадцать отверстій, то пока верхняя коробка сирены находится въ покоѣ, оба тона будутъ въ абсолютно точномъ однозвучіи. Смотря по положенію верхней коробки, оба тона или неизмѣнно усиливаютъ другъ друга, или неизмѣнно себя взаимно ослабляютъ. Но если верхнюю коробку приводятъ въ медленное вращеніе, то этимъ измѣняютъ, какъ мы только что видѣли, высоту верхняго тона, тогда какъ нижній, коего коробка неподвижна, остается неизмѣненнымъ. Слѣдовательно, мы теперь получаемъ звуковое сочетаніе двухъ немного различныхъ тоновъ. Тогда мы слышимъ такъ называемыя **дрожанія**, т. е. сила тона будетъ въ правильной послѣдовательности попеременно усиливаться и ослабляться. Причина этого явленія легко распознается изъ устройства

нашей сирены. Дѣло въ томъ, что верхняя коробка приходитъ поперемѣнно, посредствомъ своего вращенія, въ тѣ положенія, которыя, какъ мы передъ этимъ видѣли, даютъ сильный и слабый тонъ. Если рукоятка поворачивается на прямой уголъ, то коробка переходитъ изъ положенія сильнаго тона черезъ положеніе слабаго тона къ слѣдующему положенію сильнаго тона. Соотвѣтственно этому, мы находимъ четыре дрожанія при всякомъ цѣломъ поворотѣ рукоятки, какъ бы скоро круги не вращались и какъ бы поэтому не былъ высокъ или низокъ ихъ тонъ. Какъ только мы останавливаемъ коробку во время maximum силы тона, мы удерживаемъ большую силу тона; если же наоборотъ останавливаемъ ее во время minimum, то сохраняемъ наименьшую силу тона.

Механизмъ прибора даетъ при этомъ одновременно указаніе о взаимной связи между числомъ дрожаній и разностью высотъ тоновъ. Простое соображеніе показываетъ, что число воздушныхъ толчковъ уменьшается на единицу въ то время, какъ рукоятку поворачиваютъ на прямой уголъ. Каждому повороту рукоятки на прямой уголъ отвѣчаетъ одно дрожаніе. Слѣдовательно, **число дрожаній въ данный промежутокъ времени равно разности между числами колебаній, исполняемыхъ въ тоже самое время обоими звуками**. Это и есть общій законъ, который опредѣляетъ число дрожаній при всѣхъ родахъ звука. Но его правильность можетъ быть контролирована на другихъ инструментахъ только весьма точными и затруднительными измѣреніями чиселъ колебаній, тогда какъ на сиренѣ она непосредственно оказывается изъ конструкціи прибора.

Явленіе изображено графически на фиг. 57. Пусть *cc* обозначаетъ рядъ воздушныхъ толчковъ одного тона, *dd* другаго. Протяженіе *cc*

Фиг. 57.



раздѣлено на 18 частей; одинаковая съ нею длина *dd* на 20. Въ 1, 3, 5 толчки обоихъ тоновъ между собою совпадаютъ и мы имѣемъ усиленіе тона; при 2 и 4 они находятся одинъ между другимъ и взаимно ослабляются. Для всей линіи число дрожаній равняется 2, потому что разность числа частей, изъ коихъ каждая представляетъ одно колебаніе, равна 2.

Maximum силы тона во время дрожаній называютъ **ударами**; они отдѣлены другъ отъ друга болѣе или менѣе продолжительными остановками.

Дрожанія можно легко возбудить на всѣхъ инструментахъ, издавая

два мало различающіеся другъ отъ друга тона. Они выходятъ наилучшимъ образомъ при простыхъ тонахъ камертоновъ или закрытыхъ трубокъ, потому что здѣсь тонъ дѣйствительно совершенно исчезаетъ во время паузъ. При этомъ дѣлается также замѣтнымъ небольшое колебаніе высоты дрожащаго тона *). При сложныхъ звукахъ другихъ инструментовъ, во время паузъ основнаго тона, выдаются верхніе гармоническіе тоны и поэтому тонъ переходитъ въ октаву, какъ это уже было описано прежде для интерференціи Звука. Если имѣютъ въ распоряженіи два камертона одинаковой настройки, то нужно только прилѣпить не много воска на оконечность одного изъ нихъ, оба ударить и приблизить или къ тому же уху, или поставить ихъ на деревянную доску стола, или резонанса и т. д. Для того, чтобы довести до ударовъ двѣ одинаково настроенныя закрытыя трубки, стоитъ только приблизить медленно палецъ къ амбушюру одной изъ нихъ, вслѣдствіе чего ея тонъ становится немного ниже. Дрожанія сложныхъ звуковъ слышатъ при ударенія любой клавиши разстроеннаго фортепіано, когда настройка обѣихъ, отвѣчающихъ одной и той же нотѣ, струнъ не совершенно тожественна; или же, если фортепіано настроено вѣрно, то ихъ слышатъ, когда прилѣпляютъ къ одной изъ струнъ, принадлежащихъ ударяемому тону, восковый шарикъ величиною въ горошину; этимъ ее достаточно разстраиваютъ. Но при этихъ сложныхъ звукахъ надо быть уже болѣе внимательнымъ, потому что ослабленіе тона не такъ рѣзко. Дрожаніе здѣсь скорѣе является, какъ измѣненіе высоты тона и качества звука. Это явленіе особенно поразительно на сиренѣ, смотря потому, пользуются ли футлярами или нѣтъ; когда пользуются футлярами, то основной тонъ относительно силенъ; поэтому, если воспроизводятъ дрожанія посредствомъ вращенія рукоятки, то убываніе и возрастаніе силы тона весьма замѣтно; но если футляры снимаютъ, то верхніе гармоническіе тоны достигаютъ относительно большой силы, и такъ какъ ухо весьма не увѣренно въ сравненіи силы двухъ тоновъ различной высоты, то и измѣненіе силы тона во время дрожаній замѣтно гораздо менѣе, чѣмъ измѣненіе высоты тона или оттѣнка звука.

Если при ударяющихъ сложныхъ звукахъ обращаютъ вниманіе на верхніе тоны, то слышатъ, что и они также ударяютъ, а именно на каждое дрожаніе основнаго тона приходится два дрожанія втораго частнаго тона, три третьяго и т. д. Если желаютъ считать удары при сильныхъ верхнихъ тонахъ, то легко впасть въ ошибку, въ особенности же когда удары основнаго тона такъ медленны, что его паузы простираются отъ одной до двухъ секундъ. Тогда слѣдуетъ хорошенько обратить вниманіе на высоту слышанныхъ ударовъ и въ крайнемъ случаѣ прибѣгнуть къ помощи резонатора.

*) Объясненіе этого явленія было мнѣ сообщено Г-мъ Геру (G. Guéroult). Смотри приложеніе XIV.

Дрожанія можно сдѣлать видимыми, если ими привести въ соколебаніе подходящее къ этому упругое тѣло. Натурально, что въ этомъ случаѣ дрожанія могутъ состояться только тогда, когда оба возбуждающіе тона достаточно близко лежатъ къ основному тону соколеблющагося тѣла для того, чтобы послѣдній приводился обоими тонами въ замѣтное соколебаніе. Этого всего легче достигнуть тонкою струною, натянутою на резонансѣ, на который ставятъ два камертона одинаковой настройки какъ съ нею, такъ и между собою. Если колебанія струны наблюдаютъ посредствомъ микроскопа, или къ ней приклеиваютъ бородку гусинаго пера, которая будетъ въ усиленной мѣрѣ участвовать въ движеніи струны, то явственно увидятъ какъ струна будетъ попеременно соколебаться съ большими и малыми амплитудами, смотря потому, находится ли тонъ обоихъ камертоновъ въ maximum или minimum своей силы.

Тоже самое можетъ быть достигнуто при соколебаніи натянутой перепонки. Фиг. 58 есть копія съ рисунка, исполненнаго посредствомъ такого рода колеблющейся перепонки, именно перепонки фонаутографа гг. Скотта и Кёнига.

Фиг. 58.

Перепонка этого прибора, подобная барабанной, снабжена маленькимъ твердымъ штифтомъ, который чертитъ колебанія перепонки на вращающемся цилиндрѣ. Въ данномъ случаѣ перепонка была приведена въ движеніе двумя, дающими дрожанія, органными трубками. На волновой линіи, коей здѣсь изображена только малая часть, видно, какъ времена сильныхъ колебаній смѣнялись съ временами, въ которыхъ почти что наступалъ покой. Слѣдовательно дрожанія и здѣсь также совершались самою перепонкою. Наконецъ подобныя изображенія были исполнены г. докторомъ Полицеромъ (Politzer) тѣмъ, что чертящій штифтъ прикрѣплялся непосредственно къ слуховой косточкѣ (columella) утки, и затѣмъ дрожащій тонъ воспроизводился посредствомъ двухъ органныхъ трубокъ; такимъ образомъ

доказывается, что и слуховыя косточки слѣдуютъ дрожаніямъ двухъ тоновъ *).

Вообще это должно всегда происходить въ томъ случаѣ, когда высоты обоихъ издаваемыхъ тоновъ такъ мало разнятся, какъ между собою, такъ и отъ собственнаго тона соколеблющагося тѣла, что послѣдній можетъ быть приведенъ въ замѣтное соколебаніе одновременно обоими тонами. Слѣдовательно, соколеблющіяся тѣла незначительнаго заглушенія, каковы камертоны, потребуютъ двухъ чрезвычайно близкихъ возбуждающихъ тоновъ для того, чтобы быть въ состояніи обнаружить видимыя дрожанія, и поэтому эти послѣднія должны быть весьма медленны; что касается тѣлъ, которыя заглушаются скорѣе, каковы перепонки, струны и т. п., то разность возбуждающихъ тоновъ можетъ быть больше, поэтому то и дрожанія могутъ другъ за другомъ слѣдовать быстрѣе.

Тоже самое относится и до упругихъ конечныхъ образованій волоконъ слуховаго нерва. Подобно тому какъ мы видѣли, что могутъ происходить видимыя дрожанія слуховыхъ косточекъ, должны будутъ также приходить въ дрожанія и Кортіевы дуги каждый разъ, какъ воспроизводятся два тона, которые лежатъ другъ къ другу достаточно близко для того, чтобы приводить одновременно въ соколебаніе однѣ и тѣже Кортіевы дуги. Если же, какъ мы это предположили прежде, сила ощущенія, въ относящихся къ нему нервныхъ волокнахъ, увеличивается и уменьшается съ силою упругихъ колебаній, то сила ощущенія должна будетъ въ такой же мѣрѣ увеличиваться и уменьшаться, какъ увеличиваются и уменьшаются, колебанія соотвѣтствующихъ упругихъ нервныхъ придатковъ. Въ этомъ случаѣ движеніе Кортіевыхъ дугъ должно было бы быть разсматриваемо, какъ сложенное изъ тѣхъ движеній, которыя бы воспроизвели въ нихъ оба тона въ отдѣльности. Такъ какъ эти движенія складываются, то они должны усиливаться или ослабляться, смотря потому, одинаково ли, или противоположно они направлены. Когда эти колебанія возбуждаютъ въ нервахъ ощущенія, тогда наступаетъ только уклоненіе отъ того закона, что два тона и два слуховыхъ ощущенія должны существовать ненарушенно другъ возлѣ друга.

Теперь мы приходимъ къ той части этого изслѣдованія, которая имѣетъ весьма большое значеніе для теоріи музыкальнаго консонан-

*) Дрожанія двухъ тоновъ могутъ быть сдѣланы также весьма явственно видимыми посредствомъ вибрирующаго пламени, какъ это описано въ приложеніи II. Пламя должно быть въ связи съ резонаторомъ, коего высота тона достаточно подходитъ къ высотѣ обоихъ возбуждающихъ тоновъ. Измѣненія формы пламени, происходящія въ ритмѣ ударовъ, обнаруживаютъ эти послѣдніе и безъ пользованія вращающимся зеркаломъ.

са и которая къ сожалѣнію до сихъ поръ была весьма мало принимаема акустиками во вниманіе. Здѣсь дѣло идетъ именно о томъ, что произойдетъ съ дрожаніями, если ихъ сдѣлаютъ быстрѣе и быстрѣе, и до какихъ предѣловъ можетъ возрастать ихъ число, не нарушая способности въ ухѣ ихъ воспринимать. До сихъ поръ большинство акустиковъ было склонно присоединиться къ предположенію Томаса Юнга, полагавшему, что если бы дрожанія сдѣлались очень быстрыми, то они должны были бы постепенно перейти въ комбинаціонный тонъ (въ первый разностный тонъ). Юнгъ себѣ представлялъ, что звуковые толчки, происходящіе во время дрожаній, могли бы производить на ухо тоже самое дѣйствіе, какъ элементарные воздушные толчки, напр. сирены и подобно тому, какъ 30 воздушныхъ толчковъ, происходящіе отъ сирены въ продолженіи секунды, воспроизводятъ ощущеніе низкаго тона, такимъ же образомъ 30 дрожаній двухъ произвольныхъ высшихъ тоновъ должны были бы воспроизвести такое же ощущеніе низкаго тона. Дѣйствительно, это обстоятельство хорошо подходитъ къ тому воззрѣнію, что число колебаній перваго и сильнѣйшаго комбинаціоннаго тона дѣйствительно также велико, какъ число дрожаній, которое должны воспроизвести оба тона. Но здѣсь имѣетъ большое значеніе то, что существуютъ другіе комбинаціонные тоны, а именно такъ называемые мною суммовые, которые отнюдь не подчиняются этому воззрѣнію, а напротивъ легко могутъ быть выведены изъ созданной мною теоріи комбинаціонныхъ тоновъ. Далѣе противъ воззрѣнія Юнга можно замѣтить то, что комбинаціонные тоны во многихъ случаяхъ образуются внѣ уха и могутъ привести въ соколебаніе перепонки или шары-резонаторы, соотвѣтственной постройки, что никакъ не могло бы случиться, если бы комбинаціонные тоны были ничто иное, какъ рядъ дрожаній съ ненарушеннымъ наложеніемъ другъ на друга обѣихъ звуковыхъ системъ волнъ, потому что механическая теорія соколебанія намъ показываетъ, что движеніе воздуха, сложенное изъ двухъ простыхъ колебаній различныхъ періодовъ, всегда можетъ приводить въ соколебаніе только такія тѣла, коихъ собственный тонъ отвѣчаетъ одному изъ обоихъ вышеупомянутыхъ тоновъ, пока не наступятъ такія условія, которыми препятствуется простое наложеніе обѣимъ звуковыхъ системъ волнъ, и родъ которыхъ мы уже изложили въ предъидущей главѣ. И такъ мы должны разсматривать комбинаціонные тоны какъ явленіе придаточное, которымъ однако существенно не нарушается ходъ обѣихъ начальныхъ волновыхъ системъ и ихъ дрожаній.

Противъ существовавшаго прежде мнѣнія, мы можемъ сослаться на чувственное наблюденіе, которое насъ научаетъ, что можетъ быть опредѣленно слышимо еще гораздо больше дрожаній, чѣмъ 30 въ се-

кунду. Для того, чтобы достигнуть этого результата, слѣдуетъ только послѣдовательно переходить отъ медленныхъ дрожаній къ болѣе быстрымъ и при этомъ обращать вниманіе на то, что оба тона, которые должны воспроизводить дрожанія, не должны лежать далеко другъ отъ друга на протяженіи скалы, такъ какъ слышимыя дрожанія являются только тогда, когда тоны скалы такъ близко лежатъ другъ къ другу, что могутъ привести въ соколебаніе одни и тѣже упругіе нервные придатки. Но если оба тона выбрать въ высшихъ октавахъ, то можно увеличить число дрожаній безъ увеличенія интерваловъ обоихъ тоновъ.

Самое лучшее начать наблюденія воспроизведеніемъ двухъ простыхъ одинаковой высоты тоновъ, лежащихъ примѣрно въ предѣлахъ одночертной октавы, посредствомъ камертоновъ или органныхъ трубокъ, измѣняя медленно настройку одного изъ камертоновъ, или одной изъ трубокъ. Для этого стоитъ только налѣпливать постепенно все болѣе и болѣе воску къ оконечностямъ одного изъ камертоновъ; что касается органныхъ трубокъ, то можно медленно понизить одну изъ нихъ, закрывая болѣе и болѣе ея амбушюръ; впрочемъ, большая часть закрытыхъ органныхъ трубокъ снабжена для регулированія настройки подвижнымъ поршнемъ или крышкою на закрытомъ концѣ; вдвигая поршень повышаютъ трубку, выдвигая же, ее понижаютъ.

Если воспроизвести сначала такимъ образомъ маленькую разницу тоновъ, то слышатъ дрожанія въ то время, пока обѣ звуковыя волны продолжаютъ другъ съ другомъ складываться до ихъ исчезновенія. Такого рода медленныя дрожанія не производятъ непріятнаго впечатлѣнія на ухо; въ пьесѣ, составленной изъ продолжительно звучащихъ аккордовъ, они даже могутъ имѣть нѣчто торжественное и придавать также выраженію нѣчто болѣе воодушевленное, взволнованное и потрясающее; по этому въ новѣйшихъ органахъ и гармоніонахъ существуетъ регистръ, составленный изъ двухъ трубъ или язычковъ, которые даютъ дрожанія. Этимъ подражаютъ vibrato человѣческаго голоса и смычковыхъ инструментовъ, которое, будучи употребляемо умѣстно, можетъ быть дѣйствительно весьма выразительно и производить большое впечатлѣніе, но которое невыносимо, если употребляется постоянно, хотя это къ сожалѣнію довольно часто и бываетъ.

Ухо легко слѣдитъ за этими медленными дрожаніями, когда ихъ число не превышаетъ 4-хъ или 6-ти въ секунду. Слушатель имѣетъ время воспринять всѣ отдѣльныя ихъ фазы и отдать себѣ отчетъ о каждой изъ нихъ въ отдѣльности; онъ можетъ безъ затрудненія считать дрожанія. Но если разность обоихъ тоновъ возрастаетъ примѣрно до полутона, то и число дрожаній возрастаетъ до 20 или 30 въ

секунду, и естественно, что тогда уже невозможно за ними услѣдить въ отдѣльности ухомъ, ни сосчитать ихъ; если же сначала слышали медленные звуковые толчки, а затѣмъ, какъ они постепенно ускорялись, то убѣждаются, что чувственное впечатлѣніе, производимое ими на ухо, остается тѣмъ же самымъ, — именно впечатлѣніемъ ряда отдѣльныхъ звуковыхъ толчковъ, хотя естественно, что при 20 или 30 толчкахъ въ секунду не имѣютъ болѣе времени сосредоточивать вниманія надъ каждымъ отдѣльнымъ толчкомъ когда его слышатъ и опредѣлить его число по порядку.

Но если въ то время, какъ слушатель, въ такомъ случаѣ, можетъ еще весьма хорошо различать такого же рода 30 звуковыхъ толчковъ, какъ онъ до этого слышалъ отъ 4-хъ до 6-ти въ секунду, то все-таки общій характеръ такого быстро дрожащаго звука становится иной. Именно звуковая масса становится смѣшанною, что я скорѣе бы приписалъ къ психологическому впечатлѣнію. Мы слышимъ рядъ звуковыхъ толчковъ, можемъ распознать, что таковой существуетъ, но не можемъ уже болѣе за каждымъ слѣдить въ отдѣльности, ни отдѣлять ихъ другъ отъ друга; но кромѣ этихъ, скорѣе психологическихъ моментовъ, дѣлается непріятнымъ и прямое чувственное впечатлѣніе. Подобное, быстро дрожащее звуковое сочетаніе, даетъ впечатлѣніе продолжительнаго произношенія русскаго *р* (*ррр*...) и грубо; почему оно даетъ впечатлѣніе продолжительнаго произношенія *р*, легко объясняется тѣмъ, что своеобразность трескучихъ звуковъ заключается въ томъ, что они прерывны. Вспомнимъ букву *R*, какъ характеристическій примѣръ трескучаго звука; извѣстно, что она воспроизводится тѣмъ, что мы противупоставляемъ току воздуха или нёбную занавѣску, или переднюю часть языка, вслѣдствіе чего струя воздуха не иначе можетъ себѣ проложить путь какъ отдѣльными толчками, и поэтому, сопровождающій ее голосовой тонъ, то вдругъ проявляется, то вдругъ пресѣкается.

Я воспроизводилъ также прерывные тоны посредствомъ вышеописанной двойной сирены тѣмъ, что вставлялъ вмѣсто трубки верхней коробки маленькую язычковую трубку и вгонялъ черезъ нее воздухъ. Ея тонъ дѣлается слышимымъ только тогда, когда при вращеніи кружка, отверстія его устанавливаются противъ отверстій коробки и открываютъ проходъ воздуху; поэтому, если вращать кружекъ въ то время, какъ пропускаютъ воздухъ сквозь трубку, то получаютъ прерывный звукъ, который звучитъ точно также какъ дрожащее звуковое сочетаніе, хотя его прерывности воспроизводятся чисто механическимъ путемъ. Это удается еще другимъ способомъ, помощью той же сирены. Для этого я удаляю нижнюю коробку и оставляю только ея крышку съ отверстіями, надъ которой проходитъ вращающійся

кружекъ. Къ одному изъ отверстій крышки приставляется съ нижней стороны оконечность каучуковой трубки, а другая оконечность трубки проводится въ ухо наблюдателя, посредствомъ соотвѣтственно приспособленной трубочки. Отверстіе, къ которому приставлена каучуковая трубка, будетъ попеременно открываемо и закрываемо вращающимся кружкомъ. Если помѣстить надъ послѣднимъ вблизи отверстія соотвѣтствующій камертонъ или другой инструментъ, то услышать звукъ прерывающимся, а вращая кружекъ сирены съ большею или меньшею скоростью, можно по произволу увеличивать или уменьшать число прерывностей. Слѣдовательно, прерывные тоны получаются обоими способами. Въ первомъ случаѣ тонъ трубки прерванъ во внѣшней воздушной средѣ, потому что онъ можетъ прерываться только по временамъ; въ этомъ случаѣ прерывающійся тонъ можетъ быть услышанъ произвольнымъ числомъ слушателей. Во второмъ случаѣ во внѣшней воздушной средѣ тонъ непрерывенъ, но доходитъ прерваннымъ до уха наблюдателя, слушающаго черезъ кружекъ сирены. Правда, что упомянутый тонъ можетъ быть тогда слышимъ только однимъ наблюдателемъ, но при опытѣ можно легко воспользоваться всѣми родами звуковъ самой различной высоты и самаго различнаго оттѣнка. Вслѣдствіе того, что ихъ дѣлаютъ прерывными, они всѣ получаютъ совершенно тотъ же родъ грубости, который представляютъ два одновременно звучащіе въ быстрыхъ дрожаніяхъ тона. Этимъ способомъ распознаютъ весьма явственно, что дрожанія и прерывности однозначущи въ томъ смыслѣ, что достигнувъ извѣстнаго числа они воспроизводятъ тотъ родъ шума, который мы называемъ трещаніемъ.

Дрожанія воспроизводятъ прерывное возбужденіе извѣстныхъ слуховыхъ нервныхъ волоконъ. Почему такое прерывное возбужденіе дѣйствуетъ значительно непріятнѣе непрерывнаго такой же силы или даже сильнѣйшаго, это можно узнать по аналогіи явленій другихъ нервовъ человѣческаго тѣла. Дѣло въ томъ, что всякое сильное раздраженіе нерва воспроизводитъ одновременно и притупленіе его раздражительности, такъ что вслѣдствіе этого онъ становится менѣе чувствителенъ прежняго для новыхъ дѣйствій раздраженія. Напротивъ, какъ только раздраженіе кончается и нервъ предоставленъ самому себѣ, то воспріимчивость въ живомъ организмѣ скоро возстановляется подъ вліяніемъ артеріальной крови. Въ различныхъ органахъ человѣческаго тѣла, утомленіе и возстановленіе силъ наступаютъ съ различною скоростью; но мы ихъ находимъ вездѣ, гдѣ мускулы и нервы должны обнаруживать свое дѣйствіе. Къ органамъ, въ которыхъ то и другое происходитъ относительно быстро, принадлежитъ глазъ, представляющій впрочемъ наибольшую аналогію съ

ухомъ. Намъ стоитъ только поглядѣть на солнце въ продолженіи самаго короткаго промежутка времени и мы уже находимъ, что то мѣсто нервной кожицы или сѣтчатой оболочки, которое было поражено свѣтомъ, уже стало менѣе чувствительно для другаго свѣта. Именно, если мы непосредственно послѣ этого будемъ смотрѣть на поверхность однороднаго блеска, какъ напр. на небесный сводъ, то увидимъ темное пятно величиною съ солнце; если же мы направляли глазъ на солнце не совершенно неподвижно, то увидимъ нѣсколько такихъ пятенъ и линій между ними. Для воспроизведенія этого дѣйствія достаточно одного мгновенія и такого рода утомленіе производитъ даже элетрическая искра, существующая неизмѣримо короткое время.

Если мы теперь будемъ продолжительно смотрѣть неутомленнымъ глазомъ на яркую поверхность, то самое сильное впечатлѣніе будетъ въ первый моментъ, но оно вмѣстѣ съ тѣмъ притупляетъ чувствительность глаза и вслѣдствіе этого чѣмъ оно дольше на него дѣйствуетъ, тѣмъ оно постоянно становится слабѣе и слабѣе. Тотъ, кто переходитъ изъ темноты на полный дневной свѣтъ, ослѣпленъ; напротивъ, по прошествіи нѣсколькихъ минутъ, когда чувствительность его глаза будетъ притуплена свѣтовымъ раздраженіемъ или, какъ мы также говоримъ, какъ скоро глазъ привыкнетъ къ свѣтовому раздраженію, то онъ находитъ эту степень яркости весьма пріятною. Наоборотъ, тотъ, кто переходитъ отъ полнаго дневнаго свѣта въ темное мѣсто, нечувствителенъ къ преобладающему тамъ слабому свѣту и не можетъ найдти своей дороги, тогда какъ черезъ нѣсколько минутъ, когда его глазъ отдохнулъ отъ сильнаго свѣта, онъ начинаетъ очень легко видѣть и въ темнотѣ.

Относящіяся сюда явленія могутъ быть такъ удобно изучаемы надъ глазомъ потому, что можно утомлять отдѣльныя мѣста сѣтчатой оболочки, давать другимъ отдыхъ и затѣмъ сравнивать ихъ ощущенія. Если положить кусочекъ черной бумаги на бѣлую, освѣщенную среднею силою, фиксировать опредѣленную точку черной бумаги или же вблизи ея и затѣмъ быстро ее снять, то увидятъ такъ называемое случайное изображеніе чернаго на бѣломъ мѣстѣ, потому что все то мѣсто, на которомъ лежало черное, покажется теперь болѣе яркимъ бѣлымъ, чѣмъ вся остальная бѣлая бумага. Дѣло въ томъ, что то мѣсто глаза, на которомъ было изображеніе чернаго, отдохнуло въ сравненіи съ тѣми, которыя поражались изображеніемъ бѣлаго, и поэтому мы видимъ отдохнувшимъ мѣстомъ бѣлое въ его первоначальной свѣжей яркости, тогда какъ оно кажется замѣтно потемнѣвшимъ тѣмъ мѣстамъ сѣтчатой оболочки, которыя уже были нѣкоторое время утомлены его вліяніемъ.

Слѣдовательно, при продолжительномъ равномѣрномъ вліяніи свѣтоваго раздраженія, оно влечетъ за собою притупленіе чувствительности, что предохраняетъ органъ отъ слишкомъ продолжительнаго и сильнаго возбужденія.

Напротивъ, дѣло происходитъ иначе, если на глазъ дѣйствуетъ прерывный свѣтъ, какъ напр. отдѣленныя другъ отъ друга промежутками молніи. Во время промежутковъ, чувствительность до нѣкоторой степени возстановляется снова и слѣдовательно новое раздраженіе дѣйствуетъ съ гораздо большею силою, чѣмъ если бы оно дѣйствовало непрерывно съ тою же силою. Всякій знаетъ, какъ непріятно и мучительно мерцающее освѣщеніе, даже если оно само по себѣ относительно слабо, напр., если оно происходитъ отъ ничтожнаго мерцающаго пламени свѣчки.

Подобное же происходитъ и съ нервами осязанія. Треніе ногтемъ по кожѣ для нея гораздо чувствительнѣе, чѣмъ продолжительное нажиманіе одного и того же мѣста тѣмъ же ногтемъ съ одинаковою силою. Непріятное ощущеніе, происходящее отъ царапанія, тренія и щекотанія основывается на томъ, что они вызываютъ раздраженіе нервовъ осязанія.

Трескучій, прерывный тонъ для слуховыхъ нервовъ тоже, что мерцающій свѣтъ для зрительнаго нерва и что царапаніе для кожи. Этимъ воспроизводится гораздо болѣе значительное и непріятное раздраженіе органа, чѣмъ посредствомъ равномѣрно длящагося тона. Это также обнаруживается въ особенности тогда, когда мы слышимъ весьма слабые прерывные звуки. Если ударенный камертонъ удаляютъ отъ уха на столько, что перестаютъ слышать его тонъ, то онъ сейчасъ проявится снова, если повернуть нѣсколько разъ между пальцами ножку камертона. При этомъ камертонъ попеременно приходитъ въ такія положенія, при которыхъ онъ направляетъ свой Звукъ къ уху и въ такія, при которыхъ онъ этого не выполняетъ; эта мѣна силы тона дѣлается для уха тотчас же ощутительною; поэтому то одно изъ наиболѣе чувствительныхъ средствъ воспринимать существованіе весьма слабаго тона заключается въ томъ, что присоединяютъ второй тонъ приблизительно одинаковой силы съ первымъ, который съ нимъ дѣлаетъ отъ 2-хъ до 4-хъ дрожаній въ секунду. Тогда сила звука измѣняется между нулемъ и учетверенною силою простаго тона; это усиленіе равно какъ и измѣненіе силы содѣйствуютъ тому, что дѣлаютъ его ощутительнымъ для слуха.

Подобно тому, какъ здѣсь мѣна силы въ самыхъ слабыхъ тонахъ можетъ служить къ тому, чтобы усилить ихъ впечатлѣніе на ухо, точно также мы вправѣ заключить, что такая же мѣна должна служить и къ тому, чтобы сдѣлать впечатлѣніе сильнѣйшихъ тоновъ гораздо ощутительнѣе и сильнѣе, чѣмъ при равномѣрно выдерживаемой силѣ.

Мы описали до сихъ поръ явленія, бывающія при такихъ дрожаніяхъ, коихъ число не превосходитъ отъ 20 до 30 въ секунду. Мы видѣли, что дрожанія еще вполнѣ явственны и образуютъ рядъ отдѣленныхъ другъ отъ друга звуковыхъ толчковъ въ средней части скалы; однако предѣлъ ихъ числа этимъ еще не достигнутъ.

Интервалъ $h' c''$ давалъ намъ 33 дрожанія въ секунду, придававшихъ звуковому сочетанію рѣзкій свистъ. Интервалъ цѣлаго тона $b_1 c_2$ даетъ почти вдвое болѣе дрожаній, но послѣднія гораздо менѣе рѣзки дрожаній перваго меньшаго интервала. Наконецъ интервалъ малой терціи $a' c''$ долженъ бы былъ дать по вычисленію 88 дрожаній въ секунду; но въ дѣйствительности этотъ интервалъ едва сохраняетъ ту часть грубости, которую воспроизводятъ дрожанія меньшихъ интерваловъ. Теперь можно было бы предположить, что увеличивающееся число дрожаній и есть то, что сглаживаетъ ихъ впечатлѣніе и дѣлаетъ ихъ неслышимыми. Въ пользу этого предположенія мы бы имѣли аналогію съ глазомъ, который не въ состояніи также болѣе раздѣлять рядъ быстро слѣдующихъ другъ за другомъ свѣтовыхъ впечатлѣній, когда число ихъ становится слишкомъ велико. Представимъ себѣ раскаленный уголь совершающій круговой путь. Если уголь совершаетъ свой путь приблизительно отъ 10 до 15 разъ въ секунду, то глазу кажется, что онъ видитъ непрерывный огненный кругъ. Тоже самое относится и къ разноцвѣтнымъ кругамъ, что безъ сомнѣнія извѣстно большинству моихъ читателей. Если такой кругъ дѣлаетъ болѣе 10 оборотовъ въ секунду то его различные цвѣта смѣшиваются въ одно совершенно спокойное впечатлѣніе ихъ смѣшаннаго цвѣта. Только при весьма сильномъ свѣтѣ перемѣщеніе разноцвѣтныхъ полей должно происходить быстрѣе, а именно кругъ долженъ дѣлать отъ 20 до 30 оборотовъ въ секунду. Слѣдовательно въ глазѣ происходитъ совершенно подобное же явленіе какъ и въ ухѣ. Если мѣна раздраженія и покоя происходитъ слишкомъ быстро, то она сглаживается въ ощущеніи; послѣднее становится непрерывнымъ и постояннымъ.

Однако, что касается до уха, то мы можемъ убѣдиться въ томъ, что увеличеніе числа дрожаній не единственная причина, отчего они сглаживаются въ ощущеніи. Дѣло въ томъ, что когда мы переходимъ отъ интервала полутона $h' c''$ къ интервалу малой терціи $a' c''$, то мы не только увеличиваемъ число дрожаній, но и величину интервала; однако мы можемъ также увеличить число дрожаній безъ измѣненія

*

интервала, перемѣщая тотже интервалъ въ высшую часть скалы. Если мы вмѣсто $h'c''$ возьмемъ оба тона октавою выше, т. е. $h''c'''$, то получимъ 66 дрожаній; въ положеніи $h'''c''''$ до 132 дрожаній, которыя дѣйствительно слышимы точно такимъ же образомъ какъ 33 дрожанія $h'c''$, хотя въ самыхъ высокихъ частяхъ скалы они дѣйствительно становятся слабѣе. Однако напр. 66 дрожаній интервала $h''c'''$ гораздо рѣзче и пронзительнѣе, чѣмъ такое же число дрожаній цѣлаго тона $b'c''$, и 88 дрожаній интервала $e'''f'''$ еще весьма явственны, тогда какъ дрожанія малой терціи $a'c''$ почти что совершенно неслышимы. Быть можетъ, что мое предположеніе касательно того, что можетъ быть слышимо до 132-хъ дрожаній въ секунду, покажется акустикамъ страннымъ и невѣроятнымъ; но опытъ можетъ быть произведенъ легко, и если воспроизвести на инструментѣ, который даетъ длящіеся тоны, какъ напр. на органѣ или гармоніонѣ рядъ полутоновъ, начиная снизу и затѣмъ постепенно брать ихъ все выше и выше, то услышатъ внизу совершенно медленныя дрожанія (H_1 C дастъ $4^1/_8$, Hc—$8^1/_4$, hc'—$16^1/_2$); чѣмъ болѣе восходятъ въ скалѣ, тѣмъ и число дрожаній становится больше; характеръ же ощущенія остается совершенно неизмѣннымъ. Такимъ образомъ можно постепенно перейти отъ 4-хъ къ 132 дрожаніямъ въ секунду и убѣдиться въ томъ, что хотя возможность ихъ сосчитать прекращается, но что характеръ ихъ, какъ ряда звуковыхъ толчковъ возбуждающихъ прерывное ощущеніе, не теряется. Во всякомъ случаѣ здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что въ болѣе высокихъ частяхъ скалы толчки становятся гораздо рѣзче и явственнѣе въ томъ случаѣ, когда число ихъ уменьшаютъ, интервалы $^1/_4$ тона или взявъ меньшіе. Въ самомъ дѣлѣ наиболѣе рѣзкая грубость происходитъ въ высшихъ частяхъ скалы при числѣ дрожаній отъ 30 до 40 въ секунду; поэтому при звуковомъ сочетаніи высокіе тоны гораздо чувствительнѣе къ потерѣ строя на дробную часть полутона, чѣмъ низкіе. Въ то время какъ два c', разнящіеся между собою на десятую часть полутона, даютъ примѣрно только одно дрожаніе въ секунду, что можетъ быть замѣчено только при внимательномъ наблюденіи и что по крайней мѣрѣ не производитъ грубости, въ то же время два c'' при той же потерѣ строя даютъ 4 дрожанія, а два c''' 8 дрожаній, что для слуха уже весьма непріятно. Характеръ грубости мѣняется также отъ числа дрожаній. Болѣе медленныя дрожанія даютъ вмѣстѣ съ тѣмъ и болѣе шероховатый родъ грубости, который можно было бы обозначить названіемъ храпѣнія или трещанія; быстрѣйшія же дрожанія даютъ болѣе пронзительную и рѣзкую грубость.

Слѣдовательно, большое число дрожаній не причина, или по крайней мѣрѣ не единственная причина, отчего они становятся неслышными; на это имѣетъ также вліяніе величина интервала, и поэтому высокими тонами можно воспроизвести болѣе быстрыя воспринимаемыя дрожанія, чѣмъ низкими.

И такъ съ одной стороны, наблюденія намъ показываютъ, что интервалы одинаковой величины не даютъ одинаково явственныхъ дрожаній на всемъ протяженіи скалы. Въ верхней части скалы дрожанія дѣлаются по преимуществу неявственными отъ увеличивающагося ихъ числа. Дрожанія полутона сохраняются явственно до верхняго предѣла четырехчертной октавы; это примѣрно и составляетъ предѣлъ употребляемыхъ для гармоническихъ сочетаній музыкальныхъ тоновъ. Дрожанія цѣлаго тона, которыя весьма явственны и сильны въ низкомъ расположеніи, едва слышимы въ верхнемъ предѣлѣ трехчертной октавы. Напротивъ большая и малая терціи, которыя могутъ быть разсматриваемы въ срединѣ скалы какъ консонансы и которыя едва даютъ замѣтить нѣкоторую грубость при вѣрной настройкѣ въ болѣе низкихъ октавахъ, звучатъ весьма грубо и даютъ явственныя дрожанія.

Но съ другой стороны явственность дрожаній и грубость звуковаго сочетанія зависитъ также, какъ мы это уже видѣли, не отъ одного лишь числа дрожаній; въ самомъ дѣлѣ, если не принимать во вниманіе величину интервала, то такую же грубость должны были бы давать имѣющія по вычисленію тоже число дрожаній, а именно 33, нижеслѣдующіе интервалы:

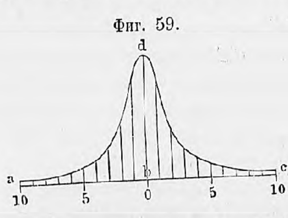
полтона	$h'c''$
цѣлый тонъ	$c'd'$ и $d'e'$
малая терція	eg
большая терція	ce
кварта	Gc
квинта	CG

Однако мы скорѣе находимъ, что эти низшіе интервалы постоянно все болѣе и болѣе освобождаются отъ ихъ грубости.

Слѣдовательно, грубость звуковаго сочетанія зависитъ отъ совокупнаго вліянія величины интервала и числа дрожаній. Что касается основанія этой зависимости, то мы уже объяснили выше, что дрожанія могутъ существовать въ ухѣ только тогда, когда издаются два тона, достаточно другъ съ другомъ сближенные въ скалѣ для того, чтобы одновременно привести въ соколебаніе тѣже упругіе нервные придатки. Если оба воспроизведенные тона слишкомъ отдалены другъ отъ друга, то колебанія одновременно возбужденныхъ ими Кортіевыхъ

волоконъ слишкомъ слабы для того, чтобы ихъ дрожанія могли бы быть еще замѣтно ощущаемы, предполагая что нѣтъ примѣси ни верхнихъ, ни комбинаціонныхъ тоновъ. По предположеніямъ, которыя мы сдѣлали въ предъидущей главѣ о степени заглушенія Кортіевыхъ волоконъ, слѣдовало бы напр., что при разности обоихъ тоновъ на цѣлый тонъ *c d*, Кортіевы волокна, коихъ собственный тонъ *cis* были бы возбуждены каждымъ изъ обоихъ тоновъ $^1/_{10}$ его собственной силы; слѣдовательно, Кортіевы волокна будутъ дрожать съ силою, мѣняющеюся между 0 и $^4/_{10}$. Если же мы напротивъ издаемъ простые тоны *c* и *cis*, то изъ данной выше таблицы слѣдуетъ, что Кортіевы волокна соотвѣтствующія срединѣ между *c* и *cis* будутъ дрожать съ силою между 0 и $^{12}/_{10}$. Наоборотъ, таже сила дрожаній для малой терціи составляла бы только 0,194, а для большой терціи 0,108, слѣдовательно она должна была бы сдѣлаться почти незамѣтною вблизи обоихъ начальныхъ тоновъ, коихъ сила 1. Фиг. 59, которою мы пользовались прежде для выраженія силы соколебанія Кортіевыхъ волоконъ при возрастающей разности тоновъ можетъ служить также и здѣсь для изображенія силы дрожаній, возбужденныхъ въ ухѣ двумя различными тонами. Мы только должны брать части, отложенныя на основной линіи такъ, чтобы 5 соотвѣтствовало протяженію цѣлаго тона, а не полутона, какъ это было выше. Дѣло въ томъ, что въ настоящемъ случаѣ отдаленіе другъ отъ друга обоихъ тоновъ вдвое болѣе, чѣмъ отдаленіе лежащаго между ними по срединѣ Кортіеваго волокна отъ каждаго изъ нихъ.

Фиг. 59.



Если бы заглушеніе Кортіевыхъ волоконъ во всѣхъ частяхъ скалы было бы одинаково и если бы число дрожаній не имѣло вліянія на грубость ощущенія, то одинаковые интервалы во всѣхъ частяхъ скалы должны были бы звучать одинаково грубо; но такъ какъ этого не бываетъ и тѣже интервалы становятся менѣе грубыми вверху и болѣе грубыми внизу, то мы должны предположить, или что заглушеніе звучащихъ выше Кортіевыхъ волоконъ меньше заглушенія низшихъ, или же что различеніе быстрыхъ дрожаній встрѣчаетъ въ ощущеніи затрудненія.

Я пока не вижу возможности отдать предпочтеніе тому или другому предположенію; однако же мы вправѣ считать первое за менѣе вѣроятное, такъ какъ, по крайней мѣрѣ на всѣхъ нашихъ музыкальныхъ инструментахъ, тѣмъ труднѣе изолировать колеблющееся тѣло отъ передачи его колебаній тому, что его окружаетъ, чѣмъ его тонъ выше.

Совершенно короткія высоко звучащія струны, маленькіе металлическіе язычки или пластинки и т. д, даютъ чрезвычайно короткіе, быстро исчезающіе высокіе тоны, тогда какъ болѣе низкіе тоны соотвѣтствующихъ большихъ тѣлъ можно легко привести въ продолжительное звучаніе. Напротивъ, за второе предположеніе говоритъ аналогія другихъ нервныхъ аппаратовъ человѣческаго тѣла, въ особенности же глаза. Я уже упомянулъ, что рядъ быстро и правильно слѣдующихъ другъ за другомъ свѣтовыхъ впечатлѣній возбуждаетъ въ глазѣ равномѣрно продолжающееся свѣтовое ощущеніе. Если свѣтовыя раздраженія слѣдуютъ другъ за другомъ очень быстро, то впечатлѣніе каждаго изъ нихъ въ отдѣльности продолжается въ нервѣ не ослабленнымъ, пока не наступитъ слѣдующее раздраженіе; такимъ образомъ промежутки въ ощущеніи уже болѣе не различаются. Число отдѣльныхъ возбужденій для глаза не можетъ превосходить 24-хъ въ секунду безъ того, чтобы они вполнѣ не слились въ одно непрерывное впечатлѣніе. Въ этомъ случаѣ ухо значительно превосходитъ глазъ, такъ какъ оно можетъ различать до 132-хъ перерывовъ въ секунду и по всей вѣроятности мы еще этимъ не дошли до окончательнаго предѣла. Быть можетъ, что гораздо болѣе высокіе и достаточно сильные тоны давали бы возможность слышать еще болѣе перерывовъ. Если различные чувствующіе аппараты представляютъ въ этомъ отношеніи различную степень подвижности, то это въ природѣ вещей, потому что это зависитъ не только отъ подвижности нервныхъ частицъ, но также и отъ подвижности тѣхъ вспомогательныхъ аппаратовъ, посредствомъ которыхъ нервное возбужденіе совершается и проявляется. Мускулы гораздо неподвижнѣе глаза; вообще десять электрическихъ разряженій, проходящихъ черезъ нервы въ продолженіи секунды, достаточны для того, чтобы привести движимые по произволу мускулы какой либо части тѣла въ продолжительное сокращеніе. Для мускуловъ непроизвольно движущихся частей желудка, кровеносныхъ сосудовъ и т. п. промежутки между раздраженіями могутъ возрастать до цѣлой секунды или даже до нѣсколькихъ секундъ, безъ уничтоженія непрерывности сокращенія. Въ этомъ отношеніи ухо значительно превосходитъ другіе нервные аппараты; оно способно распознавать незначительные промежутки времени, что служило уже издавна пособіемъ для астрономовъ. Извѣстно, что если два маятника качаются другъ возлѣ друга, то ухомъ можетъ быть различаемо совпадаютъ ли удары или нѣтъ приблизительно до $^1/_{100}$ секунды. Глазъ потерпѣлъ бы неудачу уже при $^1/_{24}$ секунды, или даже при еще болѣе крупной дроби, если бы ему пришлось рѣшить совпадаютъ ли или нѣтъ два луча молніи.

Но если ухо въ этомъ отношеніи и обнаруживаетъ свое превосходство надъ другими органами тѣла, то мы не должны однако сомнѣваться, что оно также какъ и другіе нервные аппараты, будетъ имѣть предѣлъ скорости для своей возможности воспринятія и мы можемъ предположить, что приближаемся къ этому предѣлу, когда можемъ еще только слабо различать 132 дрожанія въ секунду.

ГЛАВА IX.

Низкіе и нижайшіе тоны.

Дрожанія даютъ намъ важное средство къ опредѣленію предѣловъ нижайшихъ тоновъ и къ отдаванію себѣ отчета о нѣкоторыхъ особенностяхъ перехода отъ ощущенія отдѣльныхъ воздушныхъ толчковъ къ ощущенію совершенно непрерывнаго звука; этимъ вопросомъ мы теперь и займемся.

На вопросъ: какъ велико наименьшее число колебаній, которое бы могло еще вызвать ощущеніе тона, до сихъ поръ были даны противорѣчивые отвѣты. Показанія различныхъ наблюдателей колеблятся по Савару между 8-ю и примѣрно 80-ю цѣлыми колебаніями въ секунду. Противорѣчіе объясняется нѣкоторыми затрудненіями при опытѣ.

Если силы воздушныхъ колебаній должны произвести на ухо одинаковое впечатлѣніе, то нужно прежде всего сдѣлать силу колебаній значительно большею для очень низкихъ тоновъ, сравнительно съ силою высокихъ. Многими акустиками иногда было высказано то предположеніе, что при одинаковыхъ впрочемъ условіяхъ, сила тоновъ различной высоты прямо пропорціональна живой силѣ движенія воздуха, или, что одно и тоже, пропорціональна величинѣ механической работы, употребленной для ея производства; но простой опытъ съ сиреною показываетъ, что если употребляется одинаковая механическая работа для воспроизведенія низкихъ или высокихъ тоновъ, при одинаковыхъ впрочемъ условіяхъ, то высокіе тоны вызываютъ гораздо болѣе сильное ощущеніе, чѣмъ низкіе. Дѣло въ томъ, что если сирену вдуваютъ посредствомъ мѣховъ, когда ея кружекъ вращается все быстрѣе и быстрѣе и при этомъ наблюдаютъ, чтобы движеніе мѣховъ было совершенно равномѣрно, такъ чтобы рычагъ поднимался въ минуту одинаковое число разъ и постоянно на одинаковую высоту, то мѣха будутъ постоянно одинаково наполнены воздухомъ и въ сирену будетъ постоянно вгоняться тоже самое количе-

ство воздуха при одинаковомъ давленіи. При этихъ условіяхъ, пока сирена вращается медленно, мы имѣемъ слабый тонъ, который становится все выше и выше, но вмѣстѣ съ тѣмъ и чрезвычайно усиливается, такъ что высокіе тоны, примѣрно въ 880 колебаній, которыя я воспроизвожу на моей двойной сиренѣ были едва выносимы. При этомъ значительно большая часть постоянной механической работы употребляется на воспроизведеніе звуковаго движенія и только незначительная ея часть можетъ теряться вслѣдствіе тренія кружка объ его оси и отъ воздуха, приведеннаго въ вихреобразное движеніе; при скоромъ вращеніи, эти потери должны увеличиваться, такъ что, для воспроизведенія высокихъ тоновъ, живой силы остается даже меньше, чѣмъ для воспроизведенія низкихъ; все таки же высокіе тоны проявляются въ ощущеніи гораздо сильнѣе низкихъ. Впрочемъ я не могу до сихъ поръ указать, какъ далеко простирается это возрастаніе вмѣстѣ съ высотою, потому что скорость моей сирены, при одинаковомъ давленіи, не можетъ быть болѣе увеличена.

Возрастаніе силы тона съ высотою, особенно значительно въ нижней части скалы. Изъ этого слѣдуетъ, что въ сложныхъ звукахъ, лежащихъ весьма низко, верхніе тоны могутъ превосходить своею силою основной тонъ, даже и въ томъ случаѣ, когда въ звукахъ того же рода, но большей высоты, сила основнаго тона значительно превосходитъ силу верхнихъ тоновъ. Это легко доказать посредствомъ моей двойной сирены, такъ какъ на ней можно всегда легко опредѣлить посредствомъ дрожаній: будетъ ли слышимый тонъ основной тонъ, или же второй или третій тонъ соотвѣтствующаго звука. Въ самомъ дѣлѣ, если открыть на обѣихъ коробкахъ ряды въ 12 отверстій и если сдѣлать одинъ оборотъ рукоятки, которая приводитъ въ движеніе верхнюю коробку, то основной тонъ дастъ, какъ это уже было изложено выше, 4 дрожанія, второй тонъ 8, третій 12. Если теперь приведутъ кружки въ болѣе медленное вращеніе обыкновеннаго, для чего я заставляю пробѣгать по краю одного изъ нихъ подъ различнымъ давленіемъ обмокнутую въ масло стальную пружину, то можно легко воспроизвести ряды воздушныхъ толчковъ, отвѣчающихъ весьма низкимъ тонамъ; затѣмъ вращаютъ рукоятку и считаютъ дрожанія. Если скорость кружковъ постепенно увеличиваютъ, то находятъ, что пока число воздушныхъ толчковъ заключается между 36 и 40, тоны являющіеся впервые слышимыми дѣлаютъ при каждомъ оборотѣ рукоятки 12 дрожаній. При тонахъ, заключающихся между 40 и 80-ю воздушными толчками, слышатъ при каждомъ оборотѣ рукоятки 8 дрожаній. Слѣдовательно, здѣсь сильнѣйшій тонъ высшая октава основнаго тона. При числѣ воздушныхъ толчковъ большемъ 80, слышатъ въ первый разъ четыре дрожанія основнаго тона.

Посредствомъ этихъ опытовъ доказывается, что движенія воздуха, не имѣющія формы маятникообразныхъ колебаній, могутъ вызвать явственныя и сильныя ощущенія тоновъ, коихъ число колебаній въ 2 или 3 раза больше числа колебаній основнаго тона, при чемъ послѣдній разслышанъ быть не можетъ. Если въ скалѣ постоянно нисходятъ, то, какъ слѣдуетъ заключить изъ сказаннаго, сила ощущенія уменьшается такъ быстро, что основной тонъ, коего живая сила сама по себѣ больше живой силы верхнихъ тоновъ, въ чемъ можно убѣдиться при высшемъ расположеніи того же звука, тѣмъ не менѣе заглушается и покрывается своими верхними тонами. Сущность дѣла не измѣнится и въ томъ случаѣ, если значительно усилятъ дѣйствіе звука на ухо. При опытахъ съ сиреною верхняя дощечка мѣховъ приводилась въ сильное сотрясеніе низкими тонами, и когда я къ ней прикладывалъ голову, то она такъ сильно приводилась въ колебаніе, что вслѣдствіе оптическаго дѣйствія, сходнаго съ тѣмъ, которое встрѣчается въ стробоскопическихъ кружкахъ, я могъ снова видѣть въ отдѣльности отверстія вращающагося кружка сирены, которыя исчезаютъ для покоющагося глаза. Вдуваемый рядъ отверстій казался неподвижнымъ, другіе же ряды двигались частью впередъ, частью назадъ, и однако нижайшіе тоны не становились болѣе явственными. Въ другой разъ я соединилъ мой слуховой проходъ, посредствомъ соотвѣтственно введенной трубочки, съ отверстіемъ, которое вело во внутрь мѣховъ. Сотрясенія барабанной перепонки были такъ сильны, что они производили невыносимое щекотаніе, но тѣмъ не менѣе нижайшіе тоны не становились явственнѣе.

Слѣдовательно, если желаютъ опредѣлить предѣлъ нижайшихъ тоновъ, то необходимо воспроизвести не только весьма сильныя сотрясенія воздуха, но и придать имъ также форму простыхъ маятникообразныхъ колебаній. Пока послѣднее условіе не выполнено, отнюдь нельзя быть увѣреннымъ, соотвѣтствуютъ ли слышимые тоны основному тону, или же верхнимъ тонамъ *). Изъ примѣненныхъ до сихъ поръ инструментовъ къ этому опыту наиболѣе подходятъ длинныя закрытыя органныя трубки. Здѣсь находятъ, что уже низшіе тоны 16 футовой октавы отъ C_1 до E_1 начинаютъ переходить въ гулъ, такъ что опредѣлить съ точностью высоту ихъ тона становится весьма затруднительно даже и весьма привычному музыкальному уху; по-

*) Такимъ образомъ приборъ Савара, въ которомъ вращающаяся полоска ударяетъ сквозь узкія щели, совершенно неспособенъ сдѣлать слышимыми нижайшіе тоны. Отдѣльные воздушные толчки, въ сравненіи съ цѣлымъ періодомъ колебанія, здѣсь весьма коротки; поэтому здѣсь должны быть также весьма сильно развиты верхніе тоны, а нижайшіе тоны, которые слышимы при 8 до 16 ударахъ, суть ничто иное какъ верхніе тоны.

этому онѣ также не могутъ быть настроены помощью одного лишь слуха, но только косвеннымъ образомъ посредствомъ дрожаній, даваемыми ими съ тонами высшихъ октавъ. Подобное же замѣчаютъ на тѣхъ же нижайшихъ тонахъ фортепіано и фисгармоники; они звучатъ съ гуломъ и не имѣютъ чистоты строя, хотя ихъ музыкальный характеръ, вслѣдстіе сопровождающихъ ихъ верхнихъ тоновъ, вообще опредѣленнѣе, чѣмъ характеръ тоновъ трубокъ. Поэтому нижайшій тонъ, употребляемый въ художественной оркестровой музыкѣ есть E_1 контрабаса, дѣлающій 41 колебаніе, и я полагаю, что можно съ увѣренностью предсказать, что всѣ усилія новѣйшей техники воспроизвести болѣе низкіе, красивые музыкальные тоны не достигнутъ цѣли, не потому, что не достаетъ средствъ возбудить должныя движенія воздуха, но потому что этому отказывается служить человѣческое ухо. Правда, что 16-ти футовое C_1 органа, имѣющее 33 колебанія даетъ еще довольно непрерывное ощущеніе гула, но тѣмъ не менѣе ему нельзя было бы приписать опредѣленнаго значенія въ музыкальной скалѣ. Здѣсь уже скорѣе начинаютъ замѣчать, не смотря на правильную форму движенія, отдѣльные воздушные толчки. Въ верхней половинѣ 32-хъ футовой октавы ощущеніе отдѣльныхъ воздушныхъ толчковъ дѣлается болѣе и болѣе явственнымъ; непрерывная часть ощущенія, которую можно было бы еще сравнить съ ощущеніемъ тона, постоянно ослабляется, и въ нижней половинѣ 32-хъ футовой октавы на самомъ дѣлѣ не слышатъ ничего болѣе, какъ отдѣльные воздушные толчки, или же, если слышатъ что нибудь другое, то это ничто иное, какъ слабые верхніе тоны, отъ которыхъ также не совершенно свободны звуки закрытыхъ органныхъ трубокъ.

Я старался воспроизвести низкіе простые тоны еще другимъ образомъ. Струны, къ срединѣ которыхъ привѣшенъ тяжелый кусокъ металла, даютъ при удареніи звукъ, который состоитъ изъ нѣкотораго числа тоновъ негармоническихъ другъ къ другу. Основной тонъ отдѣленъ отъ ближайшихъ верхнихъ тоновъ интерваломъ на нѣсколько октавъ, и поэтому нѣтъ возможности его смѣшать съ верхними тонами; кромѣ того, болѣе высокіе тоны исчезаютъ очень быстро, тогда какъ низкіе звучатъ весьма долго. Такого рода струна *) натягивалась на усиливающемъ звукъ ящикѣ, имѣвшемъ одно отверстіе, которое могло быть соединено трубкою съ слуховымъ проходомъ

*) Это была тонкая латунная фортепіанная струна. Грузъ состоялъ изъ мѣднаго крейцера, просверленнаго въ серединѣ. Послѣ того, какъ струна была продернута въ отверстіе, ударами молотка вгоняли между ею и мѣдью стальной штифтикъ, такъ чтобы струна оставалась непоколебимою въ отверстіи.

такъ, что воздухъ ящика не могъ выходить иначе, какъ въ ухо. При этихъ условіяхъ тоны струны обыкновенной высоты имѣютъ невыносимую силу. Напротивъ, уже D_1 37 колебаній хотя производилъ ощущеніе тона, но только весьма слабое; однако и это ощущеніе содержало въ себѣ нѣчто трескучее, откуда можно заключить, что ухо начинало ощущать въ отдѣльности и въ этомъ случаѣ отдѣльные воздушные толчки, не смотря на ихъ правильную форму. При B_2 (34 колебаній) едва можно было что либо услышать. Слѣдовательно, кажется, что тѣ нервныя волокна, которыя ощущаютъ эти тоны, уже не возбуждаются съ равномѣрною силою во время всей продолжительности колебанія, а что въ ухѣ производятъ возбужденіе фазы сильнѣйшей скорости или сильнѣйшаго уклоненія колеблющихся образованій *).

Послѣ этого можно предположить, что ощущеніе тона начинается приблизительно при 30 колебаніяхъ, но что тоны начинаютъ принимать опредѣленную музыкальную высоту приблизительно только при 40 колебаніяхъ. Эти факты подчиняются гипотезѣ объ упругихъ придаточныхъ образованіяхъ нервовъ, если вспомнить, что Кортіевы волокна низкаго строя могутъ быть приведены въ соколебанія еще болѣе низкими тонами, хотя и съ быстро убывающею силою; слѣдовательно, здѣсь еще возможно слуховое ощущеніе, но не различіе высоты. Если нижайшіе Кортіевы волокна имѣютъ большіе промежутки на протяженіи скалы, но степень ихъ заглушенія одновременно такъ значительна, что каждымъ тономъ, соотвѣтствующимъ высотѣ одного волокна, приводятся въ довольно сильное сотрясеніе и сосѣднія волокна, то различеніе высоты тона въ такихъ частяхъ скалы будетъ неточное, но будетъ происходить непрерывно безъ скачковъ, а сила ощущенія должна будетъ сдѣлаться одновременно незначительною.

Въ то время, какъ простые тоны въ верхней половинѣ 16 ти футовой октавы уже звучатъ вполнѣ непрерывно и музыкально, вос-

*) Я недавно получилъ изъ Парижа отъ г. Кёнига два большіе камертона, имѣющіе на вѣтвяхъ передвижныя тяжести. Передвиженіемъ этихъ тяжестей измѣняютъ настройку; число происходящихъ отъ этого колебаній, обозначено на скалѣ, проходящей вдоль вѣтвей. Одинъ изъ нихъ даетъ тоны отъ 24 до 35 колебаній, другой отъ 35 до 61. Передвижныя тяжести имѣютъ форму пластинокъ 5-ти сантиметровъ въ діаметрѣ. Каждая изъ нихъ есть зеркало. Если ухо къ нимъ совершенно приближаютъ, то слышатъ весьма хорошо низкіе тоны. При 30 колебаніяхъ слышатъ еще явственно слабый тонъ съ гуломъ; при 28 колебаніяхъ его едва слышно, хотя колебанія, имѣющія амплитуду въ 9 миллиметровъ, можно легко воспроизвести такимъ образомъ непосредственно предъ ухомъ.

принятіе отдѣльныхъ воздушныхъ толчковъ при колебаніяхъ уклоняющейся формы, слѣдовательно, въ сложныхъ звукахъ еще не вполнѣ исчезаетъ даже и въ самой контра-октавѣ. Если напр. кружекъ сирены приводятъ въ движеніе съ постепенно возрастающею скоростью посредствомъ вдуванія, то сначала слышатъ только отдѣльные воздушные толчки; а потомъ, когда въ наличности уже болѣе 36 колебаній, то слышатъ также вмѣстѣ съ тѣмъ и слабые тоны, но которые сначала ничто иное какъ верхніе тоны. При возрастающей скорости, ощущеніе тоновъ дѣлается сильнѣе и сильнѣе; однако же еще долго продолжаютъ слышать отдѣльные воздушные толчки, хотя эти послѣдніе все болѣе и болѣе между собою сливаются. Только при 110 или 120 колебаніяхъ (*A* или *B* большой октавы) звукъ становится довольно непрерывнымъ. Подобное же происходитъ и на гармоніонѣ, гдѣ при регистрѣ рога *c* съ 132 колебаніями и даже при регистрѣ фагота *c'* съ 264 колебаніями издаютъ еще нѣчто въ родѣ хрипѣнія. Вообще тоже самое можно замѣтить болѣе или менѣе явственно при всѣхъ рѣзкихъ, хрипучихъ или дребезжащихъ звукахъ, которые, какъ это уже было упомянуто прежде, снабжены постоянно большимъ числомъ явственныхъ верхнихъ тоновъ.

Причина этого явленія заключается въ дрожаніяхъ, производимыхъ верхними тонами этихъ звуковъ, лежащими близко другъ къ другу въ скалѣ. Если въ звукѣ еще слышимы 15-й и 16-й верхніе тоны, то они составляютъ другъ съ другомъ интервалъ полутона и дадутъ натурально также рѣзкія дрожанія этого диссонанса. Можно легко доказать, приставляя къ уху соотвѣтствующую трубку-резонаторъ, что дрожанія этихъ тоновъ составляютъ дѣйствительно причину грубости всего звука. Если ударить G_1, имѣющее $49\frac{1}{2}$ колебаній, то 15-й тонъ звука будетъ *fis''*, 16-й *g''*, 17-й *gis''* и т. д. Если я теперь приставлю къ уху трубку-резонаторъ *g''*, которая усиливаетъ названные тоны, а именно больше всего *g''*, менѣе *fis''* и *gis''*, то грубость звука дѣлается гораздо болѣе рѣзкою и становится совершенно подобною той рѣзкости, которую даютъ при ударенія тоны *fis''* и *g''*. Этотъ опытъ удается какъ на фортепіано, такъ и на обоихъ регистрахъ гармоніона. Онъ удается также явственно при болѣе высокомъ расположеніи тоновъ, которыхъ могутъ усиливать трубки-резонаторы. У меня есть подобный резонаторъ для *g''*, которымъ этотъ тонъ однако мало усиливается; приставляя же этотъ резонаторъ къ уху, было явственно слышимо, какъ дѣлалась болѣе рѣзкою грубость *G*, имѣющаго 99 колебаній.

Уже 8-й и 9-й тоны звука, удаленные другъ отъ друга на разстояніе интервала цѣлаго тона, должны давать дрожанія, но менѣе

рѣзкія чѣмъ высшіе верхніе тоны. Однако, при нихъ усиленіе посредствомъ трубокъ-резонаторовъ удается не такъ хорошо, потому что по крайней мѣрѣ болѣе низкія трубки не въ состояніи одновременно усиливать два тона, находящіеся другъ отъ друга на растояніи цѣлаго тона. При высшихъ трубкахъ, гдѣ усиленіе не такъ значительно, интервалъ усиленныхъ тоновъ шире, и помощью трубокъ, настроенныхъ отъ *g''* до *g'''* мнѣ удавалось такимъ образомъ усиливать грубость тоновъ отъ *G* до *g* (отъ 99 до 198 колебаній), которая происходила отъ ихъ седьмаго, восьмаго и девятаго частныхъ тоновъ (*f''*, *g''* и *a''* до *f'''* и *g'''* и *a'''*); сравнивая же въ трубкѣ-резонаторѣ звукъ *G* съ звукомъ непосредственно ударяемаго диссонанса *f'' g''* или *g'' a''* также находятъ, что оба впечатлѣнія весьма сходны и что въ особенности скорость прерывностей приблизительно одна и таже.

Послѣ этого не можетъ быть сомнѣнія, что движенія воздуха, соотвѣтствующія низкимъ, снабженнымъ многими верхними тонами звукамъ, возбуждаютъ одновременно непрерывное ощущеніе низкихъ и прерывное высокихъ тоновъ, дѣлаясь отъ этихъ послѣднихъ грубыми и трескучими. Въ этомъ заключается объясненіе того факта, который мы нашли прежде при изслѣдованіи оттѣнка звука, а именно, что звуки со многими высокими верхними тонами звучатъ рѣзко, трескуче или съ дребезжаніемъ; въ этомъ заключается также и причина того, почему они гораздо пронзительнѣе и почему ухо не такъ то легко ихъ можетъ переносить. Дѣйствительно, прерывное впечатлѣніе возбуждаетъ наши нервные аппараты гораздо сильнѣе, чѣмъ непрерывное и дѣйствуетъ постоянно на воспринятіе съ новою силою. Напротивъ, простые тоны или звуки, которые содержатъ въ себѣ только немногіе изъ низкихъ, далеко другъ отъ друга лежащихъ верхнихъ тоновъ, должны воспроизводить въ ухѣ вполнѣ непрерывныя ощущенія, которыя производятъ мягкое, нѣжное и не особенно энергичное впечатлѣніе, даже если они въ самомъ дѣлѣ имѣютъ относительно большую силу.

До сихъ поръ мы не могли опредѣлить наибольшее число прерывностей, воспринимаемыхъ при высокихъ нотахъ и только обратили вниманіе на то, что они, при одинаковыхъ впрочемъ условіяхъ, тѣмъ труднѣе воспринимаемы и производятъ тѣмъ болѣе слабое впечатлѣніе, чѣмъ они многочисленнѣе. Слѣдовательно, если форма движенія воздуха, т. е. оттѣнокъ звука и остается неизмѣннымъ въ то время, какъ высота дѣлается большею, то онъ вообще будетъ менѣе грубъ. При этомъ особенно важную роль должна играть въ особенности та часть скалы, которая лежитъ близъ *fis''''* и къ которой, какъ это было замѣчено выше, особенно чувствительно ухо. Въ этой части

скалы особенно должны быть ощутительны диссонирующіе верхніе тоны: *fis''''* восьмой верхній тонъ *fis'* съ 367-ю колебаніями, соотвѣтствующаго болѣе высокимъ тонамъ мужчинъ и нижайшимъ тонамъ женщинъ и *fis''''* въ то же время 16-й верхній тонъ *fis* безчертной октавы, средины объема мужскихъ голосовъ. Я уже упоминалъ прежде, что при напряженіи человѣческихъ голосовъ, названные высокіе тоны слышатъ часто совмѣстно звучащими. Если это происходитъ при низкихъ тонахъ мужскихъ голосовъ, то оно должно проявляться въ рѣзкихъ диссонансахъ и дѣйствительно, какъ я уже замѣтилъ прежде, высокіе верхніе тоны четырехчертной октавы слышимы въ качествѣ тремоландо при forte vibrato сильнаго басоваго голоса; дѣйствительно упомянутое свойство встрѣчается гораздо чаще и проявляется съ большею силою въ басовыхъ голосахъ, чѣмъ въ болѣе высокихъ. Для звуковъ, которые переходятъ *fis'*, диссонансы верхнихъ тоновъ, которые приходятся на четырехчертную октаву, слабѣе диссонансовъ цѣлаго тона и при столь большой высотѣ они едва ли достаточно сильны для того, чтобы сдѣлаться значительно замѣтными.

Такимъ образомъ объясняется болѣе пріятное впечатлѣніе, производимое высокими голосами и происходящее отъ этого стремленіе всѣхъ пѣвцовъ и пѣвицъ достигать высокихъ нотъ. Къ этому присоединяется еще и то, что малыя потери строя въ болѣе высокихъ расположеніяхъ тоновъ производятъ гораздо большее число дрожаній, чѣмъ въ болѣе низкихъ расположеніяхъ, вслѣдствіе чего и музыкальное чувство относительно высоты тона, вѣрности и красоты музыкальныхъ интерваловъ становится гораздо точнѣе, чѣмъ въ низкомъ расположеніи.

ГЛАВА X.

Дрожанія верхнихъ тоновъ.

До сихъ поръ мы разсматривали только такія дрожанія, которыя вызываются двумя простыми тонами и къ которымъ не примѣшивались ни верхніе, ни комбинаціонные тоны. Такія дрожанія могутъ происходить только тогда, когда оба воспроизводимые тона отдалены другъ отъ друга на относительно малый интервалъ. Если бы ихъ разстояніе достигло только до величины малой терціи, то ихъ дрожанія становятся уже не явственными. Однако же извѣстно, что дрожанія могутъ также происходить отъ двухъ тоновъ, находящихся другъ отъ друга на гораздо большемъ интервалѣ, и мы впослѣдствіи увидимъ, что они играютъ главную роль при опредѣленіи консонирующихъ интерваловъ нашей музыкальной гаммы; поэтому мы должны здѣсь ихъ изслѣдовать подробнѣе. Такого рода дрожанія тѣхъ звуковъ, которые удалены другъ отъ друга въ гаммѣ болѣе чѣмъ на интервалъ малой терціи, происходятъ отъ вліянія верхнихъ тоновъ и комбинаціонныхъ тоновъ. Если звуки снабжены явственно слышимыми верхними тонами, то дрожанія, происходящія отъ послѣднихъ, по большей части гораздо сильнѣе и явственнѣе дрожаній комбинаціонныхъ тоновъ и происхожденіе ихъ можно опредѣлить гораздо легче происхожденія послѣднихъ; поэтому изслѣдованіе дрожаній болѣе широкихъ интерваловъ мы начнемъ съ дрожаній, возбуждаемыхъ верхними тонами. Однако слѣдуетъ замѣтить, что дрожанія комбинаціонныхъ тоновъ встрѣчаются гораздо чаще при всѣхъ родахъ звуковъ; напротивъ естественно, что дрожанія верхнихъ тоновъ бываютъ только при звукахъ съ явственно выдѣляющимися верхними тонами, но такъ какъ музыкальные звуки за весьма немногими исключеніями снабжены сильными верхними тонами, то дрожанія верхнихъ тоновъ имѣютъ въ музыкѣ относительно гораздо большее практическое значеніе, чѣмъ дрожанія слабыхъ комбинаціонныхъ тоновъ.

Если будутъ изданы два звука, снабженные верхними тонами, то легко понять изъ предъидущаго, что дрожанія могутъ происходить каждый разъ, какъ соотвѣтствующіе верхніе тоны обоихъ звуковъ будутъ лежать достаточно близко другъ къ другу, или же когда основной тонъ одного звука приближается къ одному изъ верхнихъ тоновъ другаго звука. Натурально, что число дрожаній равно опять таки разности чиселъ колебаній обоихъ соотвѣтствующихъ частныхъ тоновъ, которыми воспроизводятся дрожанія. Если разность чиселъ колебаній мала, т. е. если дрожанія медленны, то ихъ, подобно медленнымъ дрожаніямъ начальныхъ тоновъ, относительно легче явственнѣе расслышать, сосчитать и вообще распознать въ цѣломъ ихъ сущность. Они тѣмъ явственнѣе, чѣмъ сильнѣе тѣ частные тоны, отъ которыхъ они происходятъ и которые при употребляемыхъ обыкновенно оттѣнкахъ музыкальныхъ инструментовъ суть по числовому порядку низкіе частные тоны, потому что сила частныхъ тоновъ уменьшается съ возрастаніемъ ихъ числа по порядку.

И такъ, начнемъ хоть съ нижеслѣдующихъ примѣровъ на органѣ при регистрѣ принципаловъ, или регистрѣ скрипокъ, или же на гармоніонѣ.

Въ этихъ примѣрахъ половины обозначаютъ основные тоны звуковъ, которые слѣдуетъ воспроизвести, а четверти, относящіеся къ нимъ верхніе тоны. Если октава *Cc* перваго примѣра настроена вѣрно, то дрожаній слышно не будетъ; но если, какъ это во второмъ и третьемъ примѣрахъ, измѣняютъ высшую ноту въ *H* или *des*, то получаютъ тѣже дрожанія, которыя бы получились непосредственно, если бы воспроизвели тоны *H-c* или *c-des*, удаленные другъ отъ друга на полутонъ. Число дрожаній тоже самое ($16^1/_2$ въ секунду); однако ихъ сила конечно немного слабѣе, потому что они до нѣкоторой степени покрываются низкимъ сильнымъ тономъ *C* и потому что *c*, будучи вторымъ частнымъ тономъ звука *C*, по большей части не имѣетъ той же силы какъ и его основной тонъ.

Въ четвертомъ и пятомъ примѣрахъ, дрожанія будутъ слышимы при обыкновенной темпераціонной настройкѣ клавишныхъ инструментовъ, а именно, при хорошей настройкѣ одно дрожаніе въ секунду, потому что нота *a''*, которую издаетъ инструментъ не въ совершенно точномъ однозвучіи съ *a''*, третьимъ частнымъ тономъ звука *d'*. Напротивъ, нота *a''* инструмента въ совершенно точномъ однозвучіи съ *a''*, вторымъ частнымъ тономъ ноты *a'* 5-го примѣра; по-

этому въ 4-мъ и 5-мъ примѣрахъ мы должны получить при хорошо настроенномъ инструментѣ одинаковое число дрожаній.

Такъ какъ первый верхній тонъ дѣлаетъ вдвое болѣе колебаній своего основнаго тона, то непосредственно воспроизводимый въ первомъ примѣрѣ *c* тожественъ съ первымъ верхнимъ тономъ нижайшаго *C*, если *c* дѣлаетъ ровно вдвое болѣе колебаній *C*. Только при этомъ отношеніи чиселъ колебаній 1 къ 2, оба звука могутъ звучать вмѣстѣ, безъ дрожаній. Малѣйшее уклоненіе интервала *Cc* отъ даннаго численнаго отношенія должно будетъ проявиться дрожаніями. Въ 4-мъ примѣрѣ, дрожанія исчезнутъ только тогда, когда *a''* инструмента настроимъ такъ, что оно станетъ совершенно тожественно третьему частному тону звука *d'*, а это будетъ только въ томъ случаѣ, когда число колебаній *a''* ровно втрое больше числа колебаній *d'*. Для того, чтобы избѣгнуть дрожаній въ 5-мъ примѣрѣ, число колебаній *a'* должно быть равно половинѣ числа колебаній *a''*, которое дѣлаетъ втрое болѣе колебаній *d'*, т. е. числа колебаній *d'* и *a'* должны находиться въ точномъ отношеніи 2-хъ къ 3-мъ. Всякое уклоненіе отъ этого численнаго отношенія звучащихъ вмѣстѣ тоновъ будетъ распознаваемо проявленіемъ дрожаній.

Мы уже упомянули выше, что числа колебаній двухъ звуковъ, которые составляютъ между собою интервалъ октавы, находятся въ отношеніи 1 къ 2, а составляющіе между собою квинту въ отношеніи 2-хъ къ 3-мъ. Эти численныя отношенія уже были найдены давно, когда старались найти наиболѣе пріятныя созвучія двухъ тоновъ однимъ лишь слухомъ. Здѣсь мы нашли причину, почему эти интервалы, настроенные по простымъ отношеніямъ чиселъ, даютъ только одни плавное созвучіе, тогда какъ совершенно незначительныя уклоненія отъ математической настройки обнаруживаются нарушающими упомянутую плавность дрожаніями. *d'* и *a'* послѣдняго примѣра, настроенные въ вѣрной квинтѣ, дѣлаютъ $293^1/_3$ и 440 колебаній, а ихъ общій верхній тонъ *a''* имѣетъ $3.293^1/_3 = 2.440 = 880$ колебаній. При темпераціонной настройкѣ *d'* дѣлаетъ $293^2/_3$ колебаній, его второй верхній тонъ 881 колебаніе и эта чрезвычайно малая разница обнаруживается ухомъ однимъ дрожаніемъ въ секунду. Органнымъ мастерамъ уже давно извѣстенъ тотъ фактъ, что невѣрныя октавы и невѣрныя квинты даютъ дрожанія, и они ими пользуются для того, чтобы имѣть возможность быстро и увѣренно настроить инструментъ по вѣрной или темпераціонной настройкѣ, такъ какъ для распознаванія вѣрности инструментовъ дѣйствительно не существуетъ болѣе ощутительнаго средства.

И такъ, два звука, находящіеся въ отношеніи вѣрной октавы, вѣрной дуодецимы или вѣрной квинты, звучатъ другъ съ другомъ пена-

рушимымъ равномѣрнымъ образомъ и этимъ отличаются отъ близь лежащихъ къ нимъ интерваловъ невѣрныхъ октавъ или квинтъ, въ которыхъ часть звуковой массы распадается на отдѣльные толчки, такъ что оба звука не могутъ существовать вмѣстѣ ненарушенными; вѣрные интервалы октавы, дуодецимы и квинты мы называемъ **консонирующими интервалами** въ противоположность непосредственно къ нимъ близь лежащимъ сосѣднимъ интерваламъ, которые мы называемъ **диссонирующими**. Хотя эти названія даны были уже давно, ранѣе того, какъ что либо знали о верхнихъ тонахъ и ихъ дрожаніяхъ, тѣмъ не менѣе они совершенно вѣрно обозначаютъ сущность дѣла, т. е. ненарушенное или нарушенное звуковое сочетаніе.

Такъ какъ описанныя здѣсь явленія составляютъ существенное основаніе для точнаго опредѣленія нормальныхъ музыкальныхъ интерваловъ, то мы постараемся это подтвердить всесторонне путемъ опыта.

Сначала я предположилъ, что дрожанія происходятъ отъ тѣхъ частныхъ тоновъ обоихъ звуковъ, которые почти что совпадаютъ. Если же слушаютъ немного разстроенную октаву или квинту, то не всегда возможно вполнѣ легко и явственно распознать невооруженнымъ ухомъ какія части звуковаго сочетанія находятся въ дрожаніяхъ. Это скорѣе производитъ то впечатлѣніе, какъ будто слышатъ усиленія и ослабленія всей звуковой массы. Однако, если привычное къ различенію верхнихъ тоновъ ухо будетъ направлено на верхній тонъ, общій обоимъ звукамъ, то услышатъ сильныя дрожанія упомянутаго тона, тогда какъ оба основные тона будутъ продолжать звучать непрерывно. Если воспроизвести ноту *d'* и направить вниманіе на ея верхній тонъ *a''*, затѣмъ къ ней присоединить температіонную квинту *a'*, то можно будетъ явственно слышать дрожанія *a''*. Въ этомъ случаѣ непривычному уху весьма полезны описанные уже прежде резонаторы. Если къ уху приставить резонаторъ для *a''*, то дрожанія этого тона услышатъ весьма рѣзко; напротивъ, если берутъ резонаторъ для одного изъ основныхъ тоновъ *d'* или *a'*, то дрожанія слышатъ болѣе слабыми, потому что этимъ усиливается непрерывная часть звука.

Натурально, что это предположеніе не должно идти такъ далеко, чтобы сказать, что нѣтъ никакого другаго тона, который бы давалъ дрожанія кромѣ *a''* послѣдняго примѣра. Напротивъ того, существуютъ еще болѣе высокіе слабѣйшіе верхніе тоны, которые даютъ дрожанія, и кромѣ того въ слѣдующей главѣ мы ознакомимся съ дрожаніями комбинаціонныхъ тоновъ, которыя присоединяются къ описаннымъ здѣсь дрожаніямъ верхнихъ тоновъ. Главную роль обыкновенно играютъ только дрожанія нижайшаго верхняго тона, потому что они самыя сильныя и самыя медленныя изъ всѣхъ.

Во 2-хъ, могло бы казаться желательнымъ прямое экспериментальное доказательство того, что численныя отношенія, выведенныя нами изъ чиселъ колебаній верхнихъ тоновъ, дѣйствительно тѣже самыя, которыя не даютъ дрожаній. Это доказательство можетъ быть легче всего дано помощью вышеописанной двойной сирены (Фиг. 56).

Пусть приведутъ въ вращательное движеніе круги и откроютъ на нижнемъ рядѣ въ 8, а на верхнемъ рядѣ въ 16 отверстій; такимъ образомъ при вдуваніи получатъ два звука, которые между собою составляютъ интервалъ октавы. Они звучатъ вмѣстѣ безъ дрожаній до тѣхъ поръ, пока не станутъ вращать верхней коробки. Но какъ только ее начинаютъ медленно вращать, отчего тонъ верхняго круга немного повышается или понижается, то услышатъ дрожанія. Пока верхняя коробка находится въ покоѣ, отношеніе чиселъ колебаній равно въ точности 1 : 2, потому что при каждомъ оборотѣ круга нижняя коробка дастъ въ точности 8 воздушныхъ толчковъ, а верхняя 16. Это отношеніе можно измѣнить на какую угодно малую долю посредствомъ медленнаго вращенія рукоятки; но при каждомъ, хотя бы и очень медленномъ вращеніи, слышатъ дрожанія, которыя обнаруживаютъ нарушеніе вѣрности интервала.

Подобное же явленіе происходитъ и съ квинтою. Для этого вверху открываютъ рядъ 12, а внизу рядъ 18 отверстій; пока не вращаютъ верхней коробки, будутъ слышать совершенно спокойно звучащую квинту. Отношеніе чиселъ колебаній, данное числами отверстій обоихъ рядовъ, равняется въ точности отношенію 2 къ 3. Какъ только приведутъ въ вращательное движеніе верхнюю коробку, то услышатъ дрожанія. Мы уже видѣли выше, что каждый оборотъ рукоятки увеличиваетъ или уменьшаетъ число колебаній тона 12 отверстій на 4 колебанія. Если бы мы воспроизвели на нижнемъ кругѣ также тонъ 12-ти отверстій, то получили бы 4 дрожанія. Напротивъ, при квинтѣ, образующейся изъ рядовъ 12 и 18 отверстій, мы получаемъ при каждомъ оборотѣ рукоятки 12 дрожаній, потому что число колебаній 3-го частнаго тона возрастаетъ для каждаго оборота рукоятки на $3.4 = 12$, если число колебаній основнаго тона увеличивается 4-мя и если мы имѣемъ здѣсь дѣло съ дрожаніями названнаго частнаго тона.

При этихъ изслѣдованіяхъ, сирена имѣетъ то большое преимущество предъ всѣми другими музыкальными инструментами, что настраиваніе интерваловъ установлено самимъ механизмомъ, по простымъ отношеніямъ чиселъ, прочнымъ и неизмѣннымъ образомъ, и что мы поэтому избавлены отъ чрезвычайно утомительныхъ и трудныхъ

измѣреній чиселъ колебаній, которыя должны были бы предшествовать доказательству нашего закона, если бы мы захотѣли воспользоваться другими звучащими инструментами. Впрочемъ, законъ уже прежде былъ опредѣленъ подобными же измѣреніями и совпаденіе съ простыми отношеніями чиселъ оказывалось тѣмъ больше, чѣмъ были больше усовершенствованы способы измѣренія чиселъ колебаній и вѣрности настройки.

Подобно тому, какъ совпаденія обоихъ первыхъ верхнихъ тоновъ привели насъ къ натурально опредѣленнымъ консонансамъ октавы и квинты, мы можемъ, воспроизводя совпаденія болѣе высокихъ верхнихъ тоновъ, найдти дальнѣйшій рядъ натурально опредѣленныхъ консонирующихъ интерваловъ. Однако слѣдуетъ замѣтить, что въ той же степени, въ которой эти болѣе высокіе верхніе тоны дѣлаются слабѣе и дрожанія дѣлаются также менѣе слышимыми; этимъ разстроенные интервалы отличаются отъ вѣрно настроенныхъ. Разграниченіе интерваловъ, основывающееся на совпаденіи болѣе высокихъ верхнихъ тоновъ, становится поэтому постоянно тѣмъ слабѣе и неопредѣленнѣе, чѣмъ верхніе тоны, способствующіе этому разграниченію, выше. Первый горизонтальный и первый вертикальный ряды слѣдующей таблицы содержатъ числа по порядку совпадающихъ частныхъ тоновъ, и тамъ, гдѣ соотвѣтствующіе горизонтальный и вертикальный ряды между собою сходятся, обозначено названіе и отношеніе колебаній соотвѣтствующаго интервала основныхъ тоновъ. Это послѣднее отношеніе дано постоянно числами по порядку обоихъ совпадающихъ частныхъ тоновъ.

Совпадающіе частные тоны.	1	2	3	4	5
6	2 октавы и квинта	Дуодецима 1 : 3	Октава 1 : 2	Квинта 2 : 3	Малая терція 5 : 6
5	2 октавы и терція	Большая децима 2 : 5	Большая секста 3 : 5	Большая терція. 4 : 5	
4	Удвоенная октава 1 : 4	Октава 1 : 2	Кварта 3 : 4		
3	Дуодецима 1 : 3	Квинта 2 : 3			
2	Октава 1 : 2				

Оба нижніе ряда этой таблицы содержатъ въ себѣ интервалы, о которыхъ уже была рѣчь, а именно: октаву, дуодециму и квинту. Въ третьемъ рядѣ, считая снизу, посредствомъ тона 4, присоединяется еще интервалъ кварты и удвоенной октавы. 5-мъ тономъ опредѣляется или просто большая терція или же увеличенная одною или двумя октавами и большая секста. 6-й тонъ прибавляетъ еще малую терцію. Этимъ я оканчиваю таблицу, потому что на такихъ музыкальныхъ инструментахъ, какъ напр. на фортепіано, у коихъ можно измѣнять оттѣнокъ въ извѣстныхъ предѣлахъ, 7-й частный тонъ исчезаетъ, или же по крайней мѣрѣ весьма ослабленъ. При этомъ и 6-й тонъ большею частью очень слабъ; благопріятствовать же стараются происхожденію частныхъ тоновъ до 5-го включительно. Мы возвратимся еще разъ впослѣдствіи къ интерваламъ характеризованнымъ числомъ 7 и къ малой секстѣ, которая опредѣляется числомъ 8. Порядокъ консонирующихъ интерваловъ, начиная съ несомнѣнно охарактеризованныхъ и переходя къ менѣе хорошо опредѣленнымъ, вслѣдствіе болѣе слабыхъ дрожаній высшихъ верхнихъ тоновъ, оказывается слѣдующій:

1. Октава . . . . 1 : 2
2. Дуодецима . . . . 1 : 3
3. Квинта . . . . 2 : 3
4. Кварта . . . . 3 : 4
5. Большая секста . . . . 3 : 5
6. Большая терція . . . . 4 : 5
7. Малая терція . . . . 5 : 6.

Совпаденія ихъ верхнихъ тоновъ показаны въ нижеслѣдующемъ нотномъ примѣрѣ. Основные тоны опять таки обозначены половинами, а верхніе тоны четвертями. Рядъ верхнихъ тоновъ продолженъ до перваго общаго верхняго тона.

До сихъ поръ мы постоянно говорили только о такихъ случаяхъ въ которыхъ издаваемый интервалъ весьма мало уклонялся отъ одного изъ натуральныхъ консонирующихъ интерваловъ. При незначи-

тельной разности, дрожанія дѣйствительно медленны и поэтому ихъ не трудно замѣтить и сосчитать. Натурально, что дрожанія существуютъ и тогда, когда уклоненіе совпадающихъ верхнихъ тоновъ становится больше; но конечно въ то время, когда они становятся многочисленными, ихъ дѣйствительный характеръ скрывается подъ преобладающею звуковою массою сильнѣйшихъ основныхъ тоновъ еще легче, чѣмъ это бываетъ при болѣе быстрыхъ дрожаніяхъ двухъ диссонирующихъ основныхъ тоновъ. Быстрѣйшія дрожанія проявляются, опять таки въ качествѣ грубости всей звуковой массы, и если опытъ не производится такъ, что будутъ постепенно ускорять дрожанія, постепенно возрастающимъ разстраиваніемъ гармоническаго интервала, при чемъ можно было бы прослѣдить всѣ промежуточные ступени между возможными для счета дрожаніями съ одной стороны и между грубостью диссонанса съ другой и убѣдиться, что они различаются только своею степенью, то безъ этого ухо не такъ то легко можетъ распознать причину грубости.

Мы видѣли, что на явственность и грубость дрожаній двухъ простыхъ тоновъ имѣло вліяніе частью ихъ разстояніе въ скалѣ, частью же ихъ число, такимъ образомъ, что при болѣе высокихъ тонахъ, возрастающее число дрожаній ограничивало ихъ явственность и изглаживало ихъ ощущеніе даже при относительно довольно тѣсныхъ интервалахъ. Въ данномъ случаѣ, гдѣ мы имѣемъ дѣло съ дрожаніями верхнихъ тоновъ, которые по большей части принадлежатъ верхней части скалы, когда основные тоны лежатъ въ средней, число дрожаній также имѣетъ по преимуществу вліяніе на ихъ рѣзкость.

Законъ, который опредѣляетъ число дрожаній консонирующаго интервала при данной потерѣ строя, легко выводится изъ приведеннаго выше закона для дрожаній простыхъ тоновъ. Если два близкіе другъ къ другу простые тона производятъ дрожанія, то число дрожаній въ секунду равно разности ихъ чиселъ колебаній. Положимъ теперь для примѣра, что основной тонъ дѣлаетъ 300 колебаній въ секунду. Числа колебаній гармоничныхъ интерваловъ опредѣляются для него слѣдующимъ образомъ:

основной тонъ 300.			
Высшая октава	= 600	Низшая октава.	= 150
» квинта.	= 450	» квинта.	= 200
» кварта	= 400	» кварта.	= 225
» большая секста .	= 500	» большая секста.	= 180
» большая терція .	= 375	» большая терція.	= 240
» малая терція . .	= 360	» малая терція . .	= 250

Если мы теперь предположимъ, что основной тонъ 300 разстроенъ на одно колебаніе, такъ что онъ дѣлаетъ въ секунду 301, то число дрожаній, которое произойдетъ вслѣдствіе этого въ различныхъ консонирующихъ интервалахъ, получится, если вычислятъ числа колебаній совпадающихъ верхнихъ тоновъ и возьмутъ ихъ разность, какъ это слѣдуетъ ниже:

Восходящіе интервалы.	Дрожащіе частные тоны.		Число дрожаній.
Прима.	1.300 = 300	1.301 = 301	1
Октава	1.600 = 600	2.301 = 602	2
Квинта	2.450 = 900	3.301 = 903	3
Кварта	3.400 = 1200	4.301 = 1204	4
Большая секста . .	3.500 = 1500	5.301 = 1505	5
Большая терція . .	4.375 = 1500	5.301 = 1505	5
Малая терція. . . .	5.360 = 1800	6.301 = 1806	6

Нисходящіе интервалы.	Дрожащіе частные тоны.		Число дрожаній.
Прима.	1.300 = 300	1.301 = 301	1
Октава	2.150 = 300	1.301 = 301	1
Квинта	3.200 = 600	2.301 = 602	2
Кварта	4.225 = 900	3.301 = 903	3
Большая секста . .	5.180 = 900	3.301 = 903	3
Большая терція . .	5.240 = 1200	4.301 = 1204	4
Малая терція . . .	6.250 = 1500	5.301 = 1505	5

Слѣдовательно, число дрожаній, которое происходитъ при потерѣ строя тона въ одномъ изъ приведенныхъ консонансовъ на одно колебаніе въ секунду, всегда дается обоими тонами, характеризующими интервалъ, при чемъ меньшее число даетъ число происходящихъ дрожаній, когда высшій тонъ дѣлаетъ однимъ колебаніемъ больше; напротивъ, большее число принадлежитъ потерѣ строя нижайшаго тона. Это правило общее. И такъ возьмемъ сексту $c—a$, коей численное отношеніе 3 : 5 и пусть a дѣлаетъ въ опредѣленное время однимъ колебаніемъ больше; тогда для того же времени мы получимъ

три дрожанія звуковаго сочетанія; если же *c* въ тоже время будетъ дѣлать однимъ колебаніемъ больше, то мы получимъ 5 дрожаній и т. д.

Наше вычисленіе и основанное на немъ правило доказываютъ, что при одинаковомъ разстраиваніи одного тона, число дрожаній консонирующихъ интерваловъ возрастаетъ въ той же мѣрѣ, какъ эти интервалы выражаются большими числами; поэтому если желаютъ избѣгнуть медленныхъ дрожаній при секстахъ и терціяхъ, то слѣдуетъ придерживаться къ нормальному отношенію колебаній гораздо точнѣе, чѣмъ при октавахъ и однозвучіяхъ; но съ другой стороны при незначительномъ нарушеніи настройки терцій достигаютъ гораздо скорѣе того предѣла, при которомъ дрожанія, вслѣдствіе слишкомъ большаго ихъ числа, начинаютъ сглаживаться и терять свою явственность. Если я измѣню однозвучіе *c''—c''* нарушеніемъ настройки одного тона на полутонъ *h'—c''*, то при звуковомъ сочетаніи я получу рѣзкій диссонансъ въ 33 дрожанія, т. е. число, которое, какъ я уже упомянулъ прежде, даетъ приблизительно maximum грубости. Если я желаю разстроить квинту *f'—c''* на 33 дрожанія, то мнѣ слѣдуетъ измѣнить *c''* только на $^1/_4$ тона. Если я измѣню *c''* на полтона, такъ чтобы *f'—c'* превратилось въ *f'—h'*, то я получу 66 дрожаній, коихъ рѣзкость уже значительно ослаблена. Если я желаю сохранить 33 дрожанія въ квинтѣ *c''—g''*, то мнѣ слѣдуетъ измѣнить *c''* только на $^1/_6$ часть ступени; въ квартѣ *c''—f''* на $^1/_8$, въ большой терціи *c''—e''* и въ секстѣ *c''—a''* на $^1/_{10}$ и въ малой терціи *c''—es''* на $^1/_{12}$. Наоборотъ, если я въ каждомъ изъ этихъ интерваловъ измѣню *c''* на 33 колебанія, такъ чтобы оно измѣнилось въ *h'* или *des''*, то я получу слѣдующія числа колебаній:

Интерваль		Переходитъ въ	или въ	и даетъ дрожаній
октавы	*c'' — c'''*	*h'—c'''*	*des''—c'''*	66
квинты	*c'' — g''*	*h'—g''*	*des''—g''*	99
кварты	*c'' — f''*	*h'—f''*	*des''—f''*	132
большой терціи	*c'' — e''*	*h'—e''*	*des''—e''*	165
малой терціи	*c'' — es''*	*h'—es''*	*des''—es''*	198.

Теперь, если при благопріятныхъ обстоятельствахъ 99 дрожаній дѣйствуютъ уже весьма слабо при простыхъ тонахъ и если 132 дрожанія, какъ кажется, лежатъ на предѣлѣ воспринимаемаго, то намъ не слѣдуетъ удивляться если таковыя числа дрожаній, воспроизве-

денныя болѣе слабыми верхними тонами и покрытые сильнѣйшими основными тонами, не производятъ болѣе замѣтнаго впечатлѣнія и теряются для слуха; но это обстоятельство имѣетъ для музыкальной практики весьма большое значеніе, потому что въ нашей послѣдней табличкѣ мы находимъ какъ нарушенную квинту интервалъ *h'—g''*, который употребляется какъ несовершенный консонансъ подъ названіемъ малой сексты. Точно также большую терцію *des''—f''* мы находимъ какъ нарушенную кварту; кварту *h'—e''*, какъ нарушенную большую терцію и т. д. Если въ этомъ мѣстѣ гаммы большая терція не даетъ слышать дрожаній нарушенной кварты, а кварта дрожаній нарушенной большой терціи, то это объясняется большимъ числомъ дрожаній. Если названные интервалы въ данномъ расположеніи настроены вѣрно, то звучатъ скорѣе вполнѣ правильно и безъ всякаго слѣда замѣтныхъ дрожаній или грубости.

Мы теперь приходимъ къ обсужденію тѣхъ условій, которыя имѣютъ вліяніе на совершенство консонанса для различныхъ интерваловъ. Мы характеризовали консонансы тѣмъ, что при нихъ совпадаютъ два какіе нибудь частные тона обоихъ звуковъ. Если это происходитъ, то оба звука не могутъ совершать никакихъ медленныхъ дрожаній. Однако же возможно, что въ тоже время какіе нибудь два другіе верхніе тона обоихъ звуковъ такъ близко подойдутъ другъ къ другу, что воспроизведутъ между собою быстрыя дрожанія. Такого рода случаи уже были въ послѣднемъ нотномъ примѣрѣ. Между верхними тонами большой терціи *FA* находятся другъ возлѣ друга *f'* и *e'*, а между верхними тонами малой терціи *FAs* тоны *a'* и *as'*, которые составляютъ между собою диссонансъ полутона и должны воспроизводить тѣ же дрожанія, какъ если бы эти верхніе тоны издавались непосредственно, какъ простые основные тоны. Хотя таковыя дрожанія не могутъ сдѣлать весьма замѣтнаго впечатлѣнія, частью вслѣдствіе ихъ числа, частью отъ незначительной силы воспроизводящихъ ихъ тоновъ, частью же отъ основныхъ и остальныхъ частныхъ тоновъ равномѣрно звучащихъ вмѣстѣ, то все-таки же они не останутся совершенно безъ вліянія на благозвучіе интервала. Предъидущая глава намъ показала, что въ нѣкоторыхъ оттѣнкахъ, въ которыхъ весьма много высокихъ верхнихъ тоновъ, могутъ произойти диссонансы даже въ предѣлахъ одного единственнаго звука и ихъ грубость будетъ ощутительна для уха. Какъ только два такого рода звука сходятся, то къ диссонирующимъ интерваламъ верхнихъ тоновъ каждаго звука могутъ еще присоединиться диссонансы, воспроизводимые между соотвѣтственными верхними тонами обоихъ звуковъ, отчего должно произойти нѣкоторое увеличеніе грубости.

Для того, чтобы легко найдти для каждаго консонирующаго интер-

вала тѣ верхніе тоны, которые между собою составляютъ диссонансъ, существуетъ способъ, который выводится изъ того, что мы говорили о сильнѣйшемъ нарушеніи созвучныхъ интерваловъ. Мы разсматривали тамъ терцію, какъ нарушенную кварту, а кварту, какъ нарушенную терцію. Если мы измѣнимъ высоту звука на полтона, то измѣнимъ высоту всѣхъ его верхнихъ тоновъ также на полтона. Тѣ верхніе тоны, которые совпадаютъ въ квартѣ, разойдутся на полтона въ томъ случаѣ, когда мы измѣнимъ кварту на полтона такъ чтобы она стала большею терціею, и наоборотъ, тѣ верхніе тоны которые совпадаютъ въ терціи, должны разойтись на полтона въ квартѣ, какъ это показываетъ слѣдующій примѣръ:

Кварта. Б. терція. М. терція.

Въ квартѣ перваго примѣра, четвертый и третій частные тоны совпадаютъ въ *f'*. Напротивъ, если во второмъ примѣрѣ кварту *B* понизить на большую терцію *A*, то ея третій частный тонъ понизится съ *f'* на *e'* и составитъ диссонансъ съ остающимся тономъ *f'* звука *F*. Наоборотъ, пятый и шестой тоны обоихъ звуковъ, которые въ первомъ примѣрѣ составляютъ диссонансъ *a'—b'*, сходятся здѣсь въ *a'*. Точно также консонансъ *a'—a'* втораго примѣра измѣняется въ диссонансъ *a'—as'* третьяго, тогда какъ диссонансъ *c''—cis''* втораго примѣра переходитъ въ консонансъ *c''—c''* третьяго.

Слѣдовательно, въ каждомъ консонирующемъ интервалѣ диссонируютъ тѣ верхніе тоны, которые совпадаютъ въ сосѣднихъ интервалахъ, и въ этомъ смыслѣ можно сказать, что каждый консонансъ нарушается близостью сосѣднихъ консонансовъ въ гаммѣ, а именно тѣмъ болѣе, чѣмъ ниже и сильнѣе верхніе тоны, характеризующіе своимъ совпаденіемъ нарушаемый интервалъ, или другими словами, чѣмъ меньше числа выражающія отношенія ихъ колебаній.

Слѣдующая таблица даетъ наглядное понятіе этого вліянія различныхъ консонансовъ другъ на друга. Верхніе тоны взяты до девятаго, и интерваламъ, образующимся отъ совпаденія болѣе высокихъ верхнихъ тоновъ, даны соотвѣтствующія названія. Третій столбецъ содержитъ въ себѣ отношеніе ихъ чиселъ, которое даетъ въ тоже время числа по порядку совпадающихъ частныхъ тоновъ.

Четвертый столбецъ даетъ разстояніе отдѣльныхъ интерваловъ между собою, а послѣдній даетъ величину относительной силы дрожаній, которыя образуются вслѣдствіе разстраиванія соотвѣтствующаго интервала, вычисленныя для оттѣнка звука скрипки *). Чѣмъ болѣе заключающееся въ этомъ столбцѣ число, тѣмъ болѣе соотвѣтствующій интервалъ нарушаетъ сосѣдніе.

Интервалы.	Нотація.	Отношенія чиселъ колебаній.	Взаимныя разстоянія.	Сила вліянія.
Прима	*C*	1 : 1		100
			8 : 9	
Секунда.	*D*	8 : 9		1,4
			63 : 64	
Увеличенная секунда.	*D+*	7 : 8		1,8
			48 : 49	
Уменьшенная терція .	*Es—*	6 : 7		2,4
			35 : 36	
Малая терція	*Es*	5 : 6		3,3
			24 : 25	
Большая терція	*E*	4 : 5		5,0
			35 : 36	
Увеличенная терція. .	*E+*	7 : 9		1,6
			27 : 28	
Кварта	*F*	3 : 4		8,3
			20 : 21	
Уменьшенная квинта .	*Ges—*	5 : 7		2,8
			14 : 15	
Квинта	*G*	2 : 3		16,7
			15 : 16	
Малая секста	*As*	5 : 8		2,5
			24 : 25	
Большая секста	*A*	3 : 5		6,7
			20 : 21	
Уменьшенная септима.	*B—*	4 : 7		3,6
			35 : 36	
Малая септима	*B*	5 : 9		2,2
			9 : 10	
Октава	*C*	1 : 2		50

Наиболѣе совершенное созвучіе прима или однозвучіе, въ которой оба звука имѣютъ одинаковую высоту. Всѣ ея частные тоны совпадаютъ и поэтому ими не можетъ образоваться никакого диссонанса, которые бы не заключался уже въ каждомъ отдѣльномъ звукѣ.

Нѣчто подобное происходитъ и въ октавѣ. Всѣ частные тоны высшей ноты этого интервала совпадаютъ съ соотвѣтствующими

*) Смотри приложеніе XV.

одноименными тонами низшей ноты и ихъ усиливають, такъ что въ этомъ случаѣ не можетъ произойти никакого диссонанса верхнихъ тоновъ, который бы не существовалъ уже, хотя бы и болѣе слабо самъ по себѣ въ нижайшемъ звукѣ. Звукъ, который сопровождается своею октавою, получаетъ вслѣдствіе этого нѣсколько болѣе рѣзкій оттѣнокъ, потому что болѣе высокіе частные тоны, которые обусловливаютъ рѣзкость оттѣнка, усиливаются частью присоединенною октавою; но это дѣйствіе могло бы наступить подобнымъ же образомъ, если бы просто способствовали усиленію основнаго тона, не придавая ему октавы; только въ этомъ случаѣ усиленіе раздѣлилось бы между различными верхними тонами нѣсколько иначе.

Тоже самое происходитъ съ дуодецимою и со второю октавою, и вообще во всѣхъ случаяхъ, въ которыхъ высшій звукъ совпадаетъ съ однимъ изъ верхнихъ тоновъ низшаго звука; однако при возрастающемъ удаленіи обоихъ звуковъ, разница между консонансомъ и диссонансомъ все болѣе и болѣе сглаживается.

Разсмотрѣнные до сихъ поръ интервалы, въ которыхъ высшій звукъ совпадаетъ съ однимъ изъ частныхъ тоновъ низшаго, мы можемъ назвать абсолютными консонансами. Второй звукъ не прибавляетъ здѣсь ничего новаго и только усиливаетъ часть перваго.

Прима и октава значительно нарушаютъ близь лежащіе къ нимъ интервалы, такъ что малая секунда *C—Des* и большая септима *C—H*, соотвѣтственно отстоящія отъ примы и октавы на полтона, составляютъ наиболѣе рѣзкіе диссонансы нашихъ гаммъ. Большую секунду *C—D* и малую септиму *C—B*, въ которыхъ удаленіе отъ нарушающихъ интерваловъ достигаетъ цѣлаго тона, должно также причислять къ диссонансамъ; однако, вслѣдствіе большаго разстоянія диссонирующихъ тоновъ, они гораздо мягче, чѣмъ прежде названные. Ихъ грубость въ особенности значительно уменьшается, вслѣдствіе большаго числа дрожаній въ высшихъ частяхъ гаммы. Такъ какъ малая септима обязана своему диссонансу первому верхнему тону, который въ большей части музыкальныхъ оттѣнковъ слабѣе основнаго тона, то ея диссонансъ еще мягче диссонанса большой секунды и составляетъ предѣлъ диссонансовъ.

Слѣдовательно, мы должны искать новые хорошіе консонансы въ срединѣ интервала октавы, и здѣсь намъ прежде всего является квинта. Въ нашей послѣдней таблицѣ она имѣетъ непосредственно возлѣ себя на разстояніи полутона только интервалы 5 : 7 и 5 : 8, которые могутъ ее нарушать мало или же вовсе не нарушать, потому что въ лучшихъ музыкальныхъ оттѣнкахъ 7-й и 8-й частные тоны выходятъ весьма слабо, или же ихъ совершенно недостаетъ. Ближайшіе интервалы съ сильнѣйшими верхними тонами суть кварта 3 : 4 и большая секта 3 : 5. Здѣсь отстояніе уже цѣлый тонъ, и если 1-й и 2-й тоны интервала октавы нарушаютъ малую септиму только немного, то натурально, что нарушенія 2-мъ и 3-мъ тонами или сосѣдствомъ квинты незначительно для кварты или большой сексты, и можно совершенно пренебрегать обратнымъ дѣйствіемъ обоихъ интерваловъ съ 3-мъ и 4-мъ или 3-мъ и 5-мъ тонами на квинту. Такимъ образомъ квинта остается совершеннымъ консонансомъ, въ которомъ почти что совсѣмъ не дѣлается замѣтнымъ никакого нарушенія отъ диссонансовъ сближенныхъ между собою верхнихъ тоновъ; только при рѣзкихъ оттѣнкахъ (гармоніонъ, контрабасъ, віолончель, язычковой регистръ органа) съ высокими верхними тонами и въ весьма низкомъ расположеніи, когда число дрожаній незначительно, замѣчаютъ, что квинта звучитъ немного грубѣе октавы; поэтому квинта и была признана съ древнѣйшихъ временъ и всѣми музыкантами за консонансъ. Напротивъ, интервалы, лежащіе близь квинты, вмѣстѣ съ тѣми, которые возлѣ октавы, суть тѣ, которые составляютъ наиболѣе рѣзкіе диссонансы, а именно лежащіе между квартою и квинтою, которые по одну сторону нарушаются 2-мъ и 3-мъ тономъ, а по другую 3-мъ и 4-мъ еще болѣе рѣзко, чѣмъ тѣ, которые лежатъ между квинтою и большою секстою, такъ какъ въ послѣднихъ, вмѣсто нарушенія 4-мъ тономъ, происходитъ нарушеніе слабѣйшимъ 5-мъ; поэтому интервалы, лежащіе между квинтою и квартою разсматриваются въ музыкальной практикѣ какъ диссонансы; напротивъ между квинтою и большою секстою лежитъ интервалъ малой сексты, который считается несовершеннымъ консонансомъ и обязанъ этому преимуществу не столько своему благозвучію, а скорѣе тому, что онъ даетъ при обращеніи большую терцію; въ самомъ дѣлѣ, на клавишныхъ инструментахъ, смотря по *тону* въ которомъ играютъ, одни и тѣже клавиши должны представлять, то консонансъ *C—As*, то диссонансъ *C—Gis*.

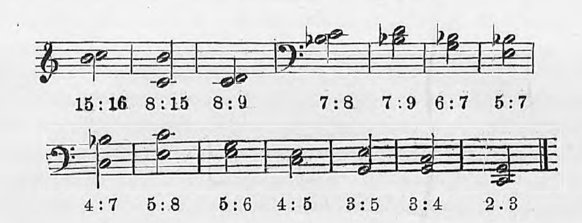
Непосредственно за квинтою слѣдуютъ консонансы кварты 3 : 4 и большой сексты 3 : 5, коихъ главное нарушеніе исходитъ изъ квинты. Кварта лежитъ нѣсколько далѣе отъ квинты (отстояніе равно интервалу 8 : 9), чѣмъ квинта отъ сексты (отстояніе 9 : 10); поэтому послѣдняя консонансъ менѣе совершенный кварты; однако кварта имѣетъ непосредственно возлѣ себя большую терцію съ совпадающими 4-мъ и 5-мъ верхними тонами, и если эти тоны обладаютъ значительною силою, то упомянутое преимущество кварты можетъ поэтому снова исчезнуть. Извѣстно также, что между древнѣйшими музыкантами-теоретиками было продолжительное преніе о томъ, считать ли кварту за консонансъ или диссонансъ. Предпочтеніе, да-

ваемое квартѣ передъ большою секстою и большою терціею, она обязана скорѣе тому, что она обращенная квинта, чѣмъ ея выдающемуся благозвучію. Кварта, равно какъ большая и малая секта дѣлаются менѣе удовлетворительными, когда онѣ переходятъ въ октаву, потому что онѣ тогда подходятъ къ дуодецимѣ и поэтому нарушеніе становится сильнѣе какъ характеристичными тонами дуодецимы 1 и 3, такъ и лежащими возлѣ интервалами 2 : 5 и 2 : 7, которые нарушаютъ болѣе, чѣмъ 4 : 5 и 4 : 7 въ нижней октавѣ.

Затѣмъ слѣдуютъ въ ряду консонансовъ: большая и малая терціи. Эта послѣдняя въ тѣхъ случаяхъ, когда 6-й тонъ звука слабъ, какъ это бываетъ въ новѣйшихъ фертепіано, имѣетъ еще весьма несовершенные предѣлы, такъ какъ нарушеніе ея строя вызываетъ едва явственно воспринимаемыя дрожанія. Малая терція подвергнута еще замѣтнымъ образомъ нарушенію посредствомъ основнаго тона, а большая терція нарушенію посредствомъ кварты; кромѣ того онѣ обѣ взаимно нарушаютъ другъ друга, причемъ малая терція выходитъ хуже большой; поэтому для благозвучія обоихъ интерваловъ необходимо, чтобы число дрожаній, которыми нарушается ихъ благозвучіе, было велико. Въ верхнихъ частяхъ гаммы онѣ звучатъ вполнѣ чисто и хорошо, въ нижнихъ же, напротивъ, грубо; поэтому всѣ древніе не признавали терцій за консонансы и только въ концѣ XII столѣтія со временъ Франко Кёльнскаго (Franco von Cöln) ихъ стали допускать въ качествѣ несовершенныхъ консонансовъ. Основаніе этому слѣдуетъ искать въ томъ, что теорія музыки у классическихъ народовъ и въ среднихъ вѣкахъ развилась главнымъ образомъ на пѣніи мужскихъ голосовъ, а въ такомъ низкомъ расположеніи терціи дѣйствительно звучатъ не особенно хорошо. Съ этимъ вѣроятно находится въ связи и то, что не находили также вѣрнаго строя терцій, и что до конца среднихъ вѣковъ нормальною терціею считалась, такъ называемая, пиѳагорова терція 64 : 81.

Я уже упомянулъ выше какое важное вліяніе имѣетъ число слабыхъ дрожаній диссонирующихъ верхнихъ тоновъ на благозвучіе консонансовъ, въ особенности же болѣе несовершенныхъ. Если мы будемъ относить всѣ интервалы къ одному и тому же основному тону, то число ихъ дрожаній будетъ весьма различно и гораздо болѣе въ несовершенныхъ, чѣмъ въ совершенныхъ. Однако всѣмъ приведеннымъ нами до сихъ поръ интерваламъ мы можемъ дать такое положеніе въ гаммѣ, чтобы число дрожаній было одинаково. Такъ какъ мы нашли, что 33 дрожанія въ секунду даютъ для простыхъ тоновъ приблизительно *maximum* грубости, то въ слѣдующемъ здѣсь нотномъ примѣрѣ я соединилъ интервалы въ томъ расположеніи, въ которомъ они даютъ 33 дрожанія. Предполагается, что интерва-

лы принадлежатъ гаммѣ C_1—Dur вѣрной настройки. Тонъ *b* долженъ означать уменьшенную септиму тона *c* (4 : 7).



Всѣ тоны этого примѣра суть верхніе тоны C_1 33 колебаній, слѣдовательно, ихъ собственныя числа колебаній и числа ихъ верхнихъ тоновъ будутъ всѣ равны числу 33, умноженному на цѣлыя числа; поэтому разности этихъ чиселъ колебаній, которыя даютъ числа дрожаній, опять таки должны быть сами 33, 66, или большими кратными 33-хъ.

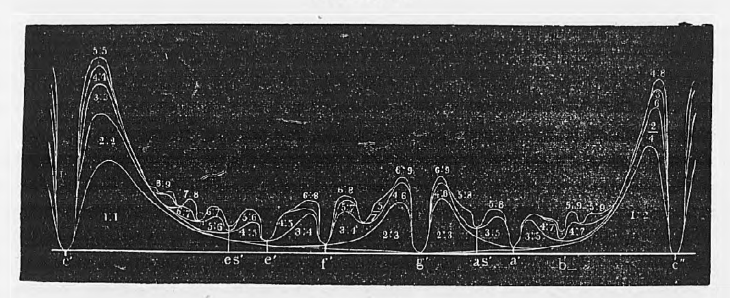
Въ данномъ здѣсь низкомъ расположеніи, происходящія отъ диссонирующихъ верхнихъ тоновъ дрожанія на столько дѣйствительны, на сколько это возможно сообразно ихъ силѣ, и здѣсь терціи, сексты и даже кварты довольно грубы; однако большая секста и большая терція обнаруживаютъ свое преимущество передъ малою терціею и малою секстою тѣмъ, что восходятъ въ скалѣ нѣсколько далѣе и все-таки звучатъ немного мягче, чѣмъ вторыя. Общеизвѣстное практическое правило музыкантовъ то, что если они желаютъ получить нѣжно звучащіе аккорды, то избѣгаютъ этихъ тѣсныхъ интерваловъ въ низкомъ расположеніи; это правило не было объяснено въ существовавшихъ до сихъ поръ теоретическихъ сочиненіяхъ о музыкѣ.

Данная мною теорія слуха позволила бы вычислить, помощью соколеблющихся упругихъ нервныхъ придатковъ, силу дрожаній различныхъ интерваловъ, если дана сила верхнихъ тоновъ въ соотвѣтствующемъ оттѣнкѣ употребляемаго инструмента и если интервалы располагаютъ такъ, что число ихъ дрожаній одинаково. Однако, такое вычисленіе даетъ весьма различные результаты для различныхъ оттѣнковъ и имѣетъ значеніе только для отдѣльнаго случая.

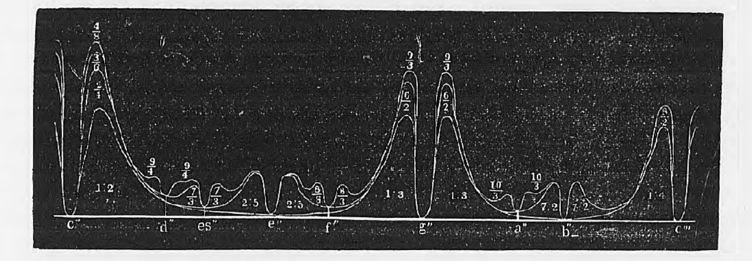
Для интерваловъ, которые относятся къ тому же основному тону, присоединяется еще новый множитель, именно числа дрожаній, коего вліяніе на грубость ощущенія не можетъ еще быть непосредственно выражено опредѣленнымъ закономъ; но для того, чтобы имѣть возможность дать наглядное графическое изображеніе совмѣстно дѣйствующихъ здѣсь отношеній, которое въ подобномъ случаѣ

однимъ обзоромъ научаетъ болѣе чѣмъ самыя сложныя описанія, я сдѣлалъ вычисленіе, по которому построилъ фиг. 60 *A* и *B*.

Фиг. 60 *A*.



Фиг. 60 *B*.



Для того, чтобы имѣть возможность ихъ построить, я конечно долженъ былъ допустить нѣкоторымъ образомъ произвольный законъ зависимости грубости отъ числа дрожаній. Для этого я выбралъ простѣйшую математическую формулу, которая выражаетъ, что если число дрожаній равно нулю, то грубость исчезаетъ, что она достигаетъ *maximum* при 33-хъ дрожаніяхъ и затѣмъ при увеличивающемся ихъ числѣ снова уменьшается; затѣмъ я вычислилъ силу и грубость дрожаній для оттѣнка скрипки, которыя воспроизводятся отдѣльными парами верхнихъ тоновъ и по результатамъ построилъ окончательно фиг. 60 *A* и *B*. Основныя линіи *c' c''* и *c'' c'''* обозначаютъ часть музыкальной скалы, заключающуюся между нотами одинаковаго наименованія, но взятую такъ, что въ ней высота тоновъ восходитъ непрерывно, а не ступенями. Далѣе принято, что соотвѣтствующіе отдѣльнымъ мѣстамъ скалы звуки звучатъ вмѣстѣ съ тономъ *c'*, который составляетъ постоянный основной тонъ всѣхъ интерваловъ. И такъ, фиг. 60 *A* показываетъ грубость интерваловъ, которые меньше октавы, а фиг. 60 *B* грубость тѣхъ интерваловъ,

которые шире одной октавы и тѣснѣе двухъ. Надъ горизонтальными основными линіями нанесены возвышенія, обозначенныя числами по порядку двухъ верхнихъ тоновъ. Высота этихъ возвышеній въ каждой точкѣ ихъ ширины сдѣлана равною грубости, производимою обоими обозначенными цифрами верхними тонами, когда звукъ соотвѣтствущей высоты звучитъ вмѣстѣ съ *c'*. Грубости, воспроизводимыя различными верхними тонами, наложены другъ на друга. Здѣсь видно, какъ различныя грубости, происходящія отъ различныхъ верхнихъ тоновъ, захватываютъ другъ друга, и что остается только немного узкихъ углубленій, соотвѣтствующихъ мѣсту наиболѣе удовлетворительныхъ консонансовъ и въ которыхъ грубость звуковаго сочетанія становится относительно малою. Наибольшія углубленія заключаютъ въ первой октавѣ *c' c''* октаву *c''* и квинту *g'*; затѣмъ слѣдуетъ кварта *f'*, большая секста *a'*, большая терція *e'* въ томъ порядкѣ, въ какомъ мы уже эти интервалы нашли прежде. Малая терція *es'* и малая секста *as'*, соотвѣтственно большей грубости этихъ интерваловъ, представляютъ уже выше лежащее дно углубленій. Къ этимъ интерваламъ весьма близко стоятъ интервалы образуемые 7-ю,—4: 7, 5: 7, 6: 7.

Во второй октавѣ вообще улучшаются тѣ интервалы предъидущей октавы, въ численномъ выраженіи которыхъ меньшее число четное, а именно: дуодецима 1 : 3, децима 2 : 5, уменьшенная септима 2 : 7 и уменьшенная терція 3 : 7 чище чѣмъ квинта 2 : 3, большая терція 4 : 5 и интервалы 4 : 7 и 6 : 7. Другіе интервалы относительно хуже. Ундецима или расширенная кварта рѣшительно уступаетъ децимѣ; терцдецима или расширенная секста точно также уступаетъ уменьшенной септимѣ; малая терція и малая секста при ихъ расширеніи располагаются, вслѣдствіе ихъ усиленнаго нарушенія сосѣдними интервалами, еще менѣе благопріятно. Эти выводы, получаемые здѣсь изъ вычисленія, подтверждаются легко при опытѣ на вѣрно настроенныхъ инструментахъ; касательно того, что ихъ принимаютъ во вниманіе и въ музыкальной практикѣ, хотя по обыкновенной теоріи музыки сущность аккорда разсматривается неизмѣнною при перенесеніи нѣкоторыхъ отдѣльныхъ его тоновъ на цѣлыя октавы, это мы увидимъ впослѣдствіи въ ученіи объ аккордахъ и ихъ обращеніяхъ.

Уже было упомянуто, что особенное свойство отдѣльныхъ оттѣнковъ можетъ разнообразно измѣнять послѣдовательность благозвучія интерваловъ. Натурально, что оттѣнокъ употребляемыхъ нынѣ музыкальныхъ инструментовъ былъ выбранъ и измѣненъ сообразно съ годностью его для гармоническихъ сочетаній. Изслѣдованіе оттѣнковъ нашихъ главныхъ инструментовъ показало, что для хорошаго

музыкальнаго оттѣнка предпочтительнѣе, если октава и дуодецима основнаго тона звучатъ сильно, четвертый и пятый тоны средственно, а болѣе высокіе верхніе тоны теряютъ быстро свою силу. Предполагая существованіе такого оттѣнка, мы можемъ резюмировать выводы настоящей главы, какъ это слѣдуетъ ниже.

Если два музыкальные звука звучатъ другъ возлѣ друга, то вообще оказываются нарушенія ихъ одновременнаго звучанія посредствомъ дрожаній, воспроизводимыхъ ихъ частными тонами другъ съ другомъ, такъ что большая или меньшая часть звуковой массы распадается на отдѣльные звуковые толчки и звуковое сочетаніе дѣлается грубымъ. Это явленіе мы называемъ диссонансомъ.

Однако между числами колебаній существуютъ извѣстныя опредѣленныя отношенія, при которыхъ происходитъ исключеніе изъ этого правила и при которыхъ или вовсе не образуется дрожаній, или же они такъ слабо поражаютъ ухо, что не производятъ непріятнаго нарушенія звуковаго сочетанія; эти исключительные случаи мы называемъ консонансами.

1) Наиболѣе совершенные консонансы суть тѣ, которые мы назвали абсолютными консонансами и у которыхъ основной тонъ одного изъ звуковъ совпадаетъ съ однимъ изъ частныхъ тоновъ другаго звука. Сюда относятся октава, дуодецима и удвоенная октава.

2) Затѣмъ слѣдуетъ квинта и кварта, которыя мы можемъ назвать совершенными консонансами, потому что они могутъ быть употребляемы безъ замѣтнаго нарушенія благозвучія во всякой части гаммы. Изъ этихъ двухъ консонансовъ кварта менѣе совершенна; она приближается къ консонансамъ слѣдующей группы и въ музыкальной практикѣ получаетъ свое преимущество существенно только оттого, что при составленіи аккордовъ она составляетъ дополненіе квинты къ октавѣ, къ чему мы возвратимся въ одной изъ слѣдующихъ главъ.

3) Слѣдующую группу составляютъ большая секста и большая терція, которыя мы можемъ назвать средними консонансами. Для прежнихъ теоретиковъ онѣ имѣли только значеніе несовершенныхъ консонансовъ. Нарушеніе благозвучія въ низкомъ расположеніи уже весьма замѣтно; въ высокихъ расположеніяхъ оно исчезаетъ потому, что дрожанія вслѣдствіе значительнаго ихъ числа смѣшиваются; но въ хорошихъ музыкальныхъ оттѣнкахъ оба интервала характеризованы самостоятельно, потому что всякое нарушеніе ихъ настройки вызываетъ явственныя дрожанія верхнихъ тоновъ и оба интервала такимъ образомъ рѣзко отдѣляются отъ всѣхъ сосѣднихъ.

4) Несовершенные консонансы малой терціи и малой сексты большею частью не опредѣлены самостоятельно, потому что въ хорошихъ оттѣнкахъ недостаетъ часто предѣльныхъ верхнихъ тоновъ въ терціи и обыкновенно въ секстѣ, такъ что небольшія нарушенія настройки этихъ интерваловъ не влекутъ за собою непремѣнно дрожаній. Они еще менѣе примѣнимы въ низкихъ расположеніяхъ чѣмъ предъидущіе и предпочитаются какъ консонансы предъ многими другими интервалами, находящимися на предѣлѣ между консонансами и диссонансами существенно потому, что при составленіи аккордовъ они необходимы какъ дополненія сексты и большой терціи къ октавѣ или квинтѣ. Уменьшенная септима 4 : 7 часто превосходитъ въ благозвучіи малую сексту, а именно постоянно тогда, когда третій частный тонъ звука сравнительно со вторымъ относительно большей силы, при чемъ квинта вліяетъ тогда на интервалы, удаленные отъ нея на полтона съ большимъ нарушеніемъ, нежели октава на отдаленную отъ нея на цѣлый тонъ малую септиму; но уменьшенная септима, будучи соединена съ другими консонансами въ аккорды, производитъ только худшіе себя интервалы 6 : 7, 5 : 7, 7 : 8 и т. д. и поэтому не употребляется въ современной музыкѣ какъ консонансъ.

5) При расширеніи интерваловъ на октаву, изъ названныхъ улучшаются квинта и большая терція, потому что они переходятъ въ дуодециму и въ большую децину. Кварта и большая секста, переходящія въ ундециму и терцдециму становятся менѣе удовлетворительными, а малая терція и секста, переходящія въ малую децину и терцдециму, самыя неудовлетворительныя, такъ что по благозвучію послѣднія далеко превосходятся интервалами 2 : 7 и 3 : 7.

Представленная здѣсь послѣдовательность консонансовъ принимается только во вниманіе какъ благозвучіе каждаго отдѣльнаго интервала, когда онъ воспроизводится самъ по себѣ безъ сочетанія съ другими интервалами; при этомъ все, что касается *тона*, гаммъ и модуляцій было оставлено безъ вниманія. Почти что всѣ музыкальные теоретики вывели такого же рода послѣдовательности консонансовъ, которыя въ общихъ чертахъ согласуются какъ между собою, такъ и съ выведенною нами послѣдовательностью изъ ихъ дрожаній. Однозвучіе и октава ставились именно всѣми на первый планъ, какъ наиболѣе совершенные изъ всѣхъ консонансовъ; затѣмъ почти что у всѣхъ теоретиковъ слѣдуютъ квинта и кварта, по крайней мѣрѣ у тѣхъ изъ нихъ, которые не принимали во вниманіе модуляціонныя особенности этого интервала, а ограничивались наблюденіемъ благозвучія изолированнаго интервала. Напротивъ, въ классификаціи секстъ и терцій существуетъ большое разнорѣчіе. Эти ин-

тервалы не признавались вообще у Грековъ и Римлянъ консонансами, быть можетъ потому, что въ одночертной октавѣ, въ которой двигались напѣвы мужскихъ голосовъ, эти интервалы дѣйствительно звучали дурно, а быть можетъ и потому, что ихъ ухо было слишкомъ чувствительно для того, чтобы переносить хотя бы только слабое увеличенiе грубости, которую даютъ сложные звуки, когда они звучатъ вмѣстѣ въ терцiяхъ и секстахъ. Архiепископъ Хризанфъ изъ Дирахiума (Chrysanthus von Dyrrhachium) увѣряетъ, что будто современные Греки не находятъ наслажденiя въ многоголосной музыкѣ; поэтому то въ своемъ сочиненiи о музыкѣ, онъ вообще пренебрегаетъ необходимостью вдаваться въ этотъ предметъ, а тѣхъ, которые бы пожелали изъ любопытства ознакомиться съ его правилами, онъ отсылаетъ къ сочиненiямъ Запада *). Подобнаго же рода мнѣнiе, по разсказамъ всѣхъ путешественниковъ, имѣютъ и Арабы.

Это правило оставалось въ своей силѣ также и въ первой половинѣ среднихъ вѣковъ, когда уже начали дѣлать первые опыты двухголоснаго сложенiя. Только къ концу XII столѣтiя Франко Кёльнскiй включилъ въ консонансы и терцiи. Онъ различаетъ:

1) Совершенные консонансы: однозвучiе и октаву.

2) Среднiе консонансы: квинту и кварту.

3) Несовершенные консонансы: большую и малую терцiю.

4) Несовершенные диссонансы: большую и малую сексту.

5) Совершенные диссонансы: малую секунду, увеличенную кварту и большую и малую септиму **).

Сексты стали впервые причислять къ консонансамъ въ XIII-мъ и XIV-мъ столѣтiяхъ. Филиппъ де Витри (Philippe de Vitry) и Жанъ де Мюрисъ ***) (Jean de Muris) приводятъ какъ совершенные консонансы однозвучiе, октаву и квинту, а какъ несовершенные,— терцiи и сексты. Кварта была исключена. Впрочемъ большая терцiя и большая секста противопоставляются первымъ изъ этихъ писателей какъ болѣе совершенные одноименныхъ съ ними малыхъ интерваловъ. Таже классификацiя находится въ Додекахордонѣ Глареана (Glareanus) 1557 г., который присоединяетъ еще только расширенные интервалы на октаву. Если же исключили кварту какъ изъ совершенныхъ, такъ и несовершенныхъ консонансовъ, то это вѣроятно имѣло своего основанiя въ правилахъ голосоведенiя. Совершенные консонансы не должны были слѣдовать другъ за другомъ въ тѣхъ же голосахъ, диссонансы также, но могли слѣдовать несовершенные консонансы, какъ то: терцiи и сексты. Но съ другой стороны совершенные консонансы октавы и квинты могли попадаться въ такихъ аккордахъ, которые должны были составлять разрѣшенiе, въ особенности же въ заключительныхъ аккордахъ. Однакоже кварта не могла удовлетворять этому аккорду, потому что она не входитъ въ тоническое трезвучiе. Съ другой стороны не допускали слѣдованiя квартами въ двухъ голосахъ; этому мѣшала близость квинты. И такъ, относительно голосоведенiя, кварта раздѣляла особенности диссонансовъ и ее прямо къ нимъ и относили, тогда какъ было бы точнѣе вставить ее между совершенными и несовершенными консонансами, ибо что касается благозвучiя, то не можетъ быть никакого сомнѣнiя, что при большинствѣ оттѣнковъ, кварта превосходитъ большую терцiю и большую сексту, а малую терцiю и малую сексту во всѣхъ случаяхъ. Однако кварта расширенная на октаву, т. е. ундецима звучитъ довольно неудовлетворительно при достаточно сильномъ третьемъ частномъ тонѣ.

*) Θεωρητικὸν μέγα τῆς Μουσικῆς παρά Χρυσάνθου. Τεργέστη 1832; это было цитировано Куссемакеромъ (Coussemaker) въ Histoire de l'Harmonie, p. 5.

**) Gerbert, Scriptores ecclesiastici de musica sacra. S. Blaise. 1784, t. III, p. 11.

Coussemaker, Histoire de l'Harmonie. Paris, 1852, p. 49.

***) Coussemaker, loc. cit. p. 66 и 68.

Пренiя о консонированiи или диссонированiи кварты продолжаются до новѣйшаго времени. Еще въ учебникѣ гармонiи Дена (Dehn), появившемся въ 1840 г., удерживается предположенiе, что ее слѣдуетъ принимать и разрѣшать какъ диссонансъ; правда, что Денъ приписываетъ этому вопросу совершенно другой смыслъ, такъ какъ онъ предписываютъ обращаться съ квартою всякаго основнаго тона въ томъ *тонѣ*, въ которомъ движется гармонiя и независимо отъ совмѣстно звучащихъ интерваловъ, какъ съ диссонансомъ. А такъ какъ въ новѣйшей музыкѣ принято вводить въ заключительный аккордъ основной тонъ какъ кварту доминанты вмѣстѣ съ этою послѣднею, что употреблялось уже въ этихъ аккордахъ давно, прежде чѣмъ рѣшились примѣнять къ нимъ терцiи, то этимъ она уже признавалась за одинъ изъ лучшихъ консонансовъ.

ГЛАВА XI.

Дрожанія комбинаціонныхъ тоновъ.

Если звучатъ одновременно два или нѣсколько звуковъ, то дрожанія могутъ быть воспроизводимы не только верхними гармоническими тонами, но также и комбинаціонными тонами. Въ седьмой главѣ уже было выведено, что сильнѣйшій комбинаціонный тонъ двухъ тоновъ тотъ, коего число колебаній отвѣчаетъ разности чиселъ колебаній этихъ обоихъ тоновъ, т. е. разностный тонъ перваго порядка. При воспроизведеніи дрожаній, этотъ тонъ и принимается главнымъ образомъ во вниманіе. Если оба начальные тона не имѣютъ значительной силы, то и этотъ сильнѣйшій комбинаціонный тонъ довольно слабъ; еще болѣе слабы комбинаціонные тоны высшаго порядка и суммовые тоны. Дрожанія, возбужденныя этими слабыми тонами, могутъ быть наблюдаемы только тогда, когда недостаетъ всѣхъ другихъ дрожаній, которыя могутъ мѣшать наблюденію, т. е. при звуковомъ сочетаніи двухъ простыхъ тоновъ, совершенно свободныхъ отъ верхнихъ тоновъ. Наоборотъ, если только имѣютъ навыкъ разслушивать комбинаціонные тоны, дрожанія первыхъ разностныхъ тоновъ могутъ быть также очень хорошо слышимы рядомъ съ дрожаніями верхнихъ гармоническихъ тоновъ сложныхъ звуковъ

Разностные тоны перваго порядка могутъ воспроизводить дрожанія сами собою безъ сочетанія съ комбинаціонными тонами высшаго порядка: 1) когда сходятся два звука, снабженные верхними тонами; 2) когда сходятся три или большее число простыхъ или сложенныхъ тоновъ. Напротивъ, комбинаціонные тоны высшаго порядка принимаются во вниманіе въ такихъ случаяхъ, гдѣ звучатъ вмѣстѣ только два простые тона.

Мы начинаемъ съ первыхъ разностныхъ тоновъ сложныхъ звуковъ. Точно также какъ ихъ основные тоны даютъ комбинаціонные тоны, и любая пара верхнихъ тоновъ обоихъ звуковъ даетъ также комбинаціонные тоны, которые натурально сами убываютъ въ силѣ въ томъ

же отношеніи, въ какомъ становятся слабѣе верхніе тоны. Если одинъ или нѣкоторые изъ этихъ комбинаціонныхъ тоновъ совпадаютъ съ другими комбинаціонными тонами, или съ начальными основными тонами, или съ верхними тонами, то происходятъ дрожанія. Возьмемъ для примѣра квинту не совершенно вѣрной настройки, коей числа колебаній пусть будутъ 200 и 301, вмѣсто 200 и 300, какъ бы это было для квинтъ вѣрной настройки. Мы вычисляемъ числа колебаній верхнихъ тоновъ, умножая числа колебаній основныхъ тоновъ на 1, 2, 3 и т. д. Мы находимъ числа колебаній первыхъ разностныхъ тоновъ, когда вычитаемъ одно изъ другаго двое изъ этихъ чиселъ. Слѣдующая таблица въ первомъ горизонтальномъ и вертикальномъ рядѣ содержитъ отдѣльные частные тоны обоихъ звуковъ; въ соотвѣтствующихъ имъ среднихъ поляхъ находится разность ихъ чиселъ колебаній, соотвѣтствующая числу колебаній комбинаціоннаго тона.

		Частные тоны квинты			
		301.	602.	903.	
Частные тоны основного тона.	200	101	402	703	Комбинаціонные тоны.
	400	99	202	503	
	600	299	2	303	
	800	499	198	103	
	1000	699	398	97	

Если мы расположимъ тоны по ихъ высотѣ, то найдемъ слѣдующія группы:

2 99 200 301 400 600 699
101 202 299 402 602 703
103 198 303 398
97

Число 2 слишкомъ мало, чтобы соотвѣтствовать комбинаціонному тону; оно показываетъ только число дрожаній между обоими верхними тонами 600 и 602. Напротивъ, во всѣхъ остальныхъ группахъ соединены тоны, коихъ числа колебаній разнятся другъ отъ друга на 2, 4 или на 6 и которые слѣдовательно даютъ соотвѣтственно 2, 4 или 6 дрожаній въ тоже время, въ которое употянутые оба верхніе тона дѣлаютъ два дрожанія. Изъ комбинаціонныхъ тоновъ сильнѣйшіе 101 и 99, которые вслѣдствіе своего низкаго расположенія обыкновенно легче отличаются отъ остальныхъ тоновъ.

Мы замѣчаемъ въ нашемъ примѣрѣ, что наиболѣе медленныя дро-

жанія, которыя образуются комбинаціонными тонами, равняются своимъ числомъ тѣмъ, которыя происходятъ отъ верхнихъ тоновъ. Это общее правило, которое примѣнимо для всѣхъ интерваловъ.

Далѣе легко замѣтить, что если бы въ нашемъ примѣрѣ вмѣсто чиселъ 200 и 301 мы бы поставили числа 200 и 300, соотвѣтствующія вѣрной квинтѣ, то всѣ числа нашей таблицы привелись бы къ кратнымъ 100, а вмѣстѣ съ тѣмъ и всѣ различные комбинаціонные тоны и верхніе тоны, которые тамъ давали дрожанія, въ послѣднемъ случаѣ бы совпали въ точности, не давая дрожаній. Что въ этомъ нашемъ примѣрѣ оказалось для квинты, то имѣетъ вообще значеніе и для всѣхъ другихъ гармоническихъ интерваловъ *).

Первые разностные тоны сложныхъ звуковъ даютъ постоянно только въ тѣхъ случаяхъ дрожанія и всегда столько дрожаній, какъ и сколько бы ихъ воспроизвели верхніе тоны тѣхъ же звуковъ, предполагая что рядъ ихъ полный. Отсюда слѣдуетъ, что отъ присоединенія комбинаціонныхъ тоновъ ничего существенно не измѣняется въ результатахъ, которые мы пріобрѣли въ предъидущей главѣ изъ изслѣдованія о дрожаніяхъ верхнихъ тоновъ. Только сила дрожаній можетъ быть немного увеличена.

Напротивъ, дѣло происходитъ совершенно иначе при звуковомъ сочетаніи двухъ простыхъ тоновъ, совершенно свободныхъ отъ верхнихъ тоновъ. Если бы мы не принимали во вниманіе комбинаціонныхъ тоновъ, то два простые тона, какъ напр. двухъ камертоновъ или двухъ закрытыхъ органныхъ трубокъ, могли бы давать дрожанія только въ томъ случаѣ, когда они лежали бы другъ къ другу близко. Эти дрожанія сильны тогда, когда интервалъ не превосходитъ большую или малую секунду; они слабы и замѣтны только въ болѣе низкихъ частяхъ скалы, когда этотъ интервалъ равенъ терціи, и они постепенно убываютъ въ явственности въ той же степени какъ интервалъ увеличивается, при чемъ гармоническіе интервалы не обнаруживаютъ особенно выдающихся свойствъ. Если бы при всякомъ большомъ интервалѣ двухъ простыхъ тоновъ совершенно не было верхнихъ и комбинаціонныхъ тоновъ, то совсѣмъ бы не было также и дрожаній, и слѣдовательно найденные въ предъидущей главѣ консонирующіе интервалы ничѣмъ бы также не отличались при подобныхъ тонахъ отъ своихъ сосѣднихъ интерваловъ; слѣдовательно, большіе консонирующіе и диссонирующіе интервалы не могли бы быть вообще вовсе различаемы.

Однако болѣе широкіе интервалы простыхъ тоновъ могутъ также

*) Математическое доказательство, касающееся этого вопроса, находится въ приложеніи XVI.

давать дрожанія, хотя и гораздо слабѣйшія, чѣмъ разсмотрѣнныя до сихъ поръ; сообразно этому, консонансы и диссонансы различаются и для такихъ тоновъ, хотя и гораздо менѣе совершенно чѣмъ для сложныхъ звуковъ; это основывается, какъ пояснилъ Шейблеръ (Scheibler), на комбинаціонныхъ тонахъ высшаго порядка.

Первый разностный тонъ достаточенъ только при октавѣ. Если основной тонъ дѣлаетъ 100 колебаній, тогда какъ октава дѣлаетъ въ тоже время 201, то первый разностный тонъ дѣлаетъ 201—100=101 колебаніе и слѣдовательно почти совпадаетъ съ основнымъ тономъ, съ которымъ онъ воспроизводитъ одно дрожаніе на 100 колебаній. Эти дрожанія слышимы безъ затрудненія и поэтому при простыхъ тонахъ можно также легко отличать посредствомъ дрожаній вѣрную октаву отъ невѣрной.

Комбинаціонный тонъ перваго порядка недостаточенъ для квинты. Если для невѣрной квинты мы возьмемъ отношеніе колебаній 200 къ 301, то комбинаціонный тонъ перваго порядка 101, который слишкомъ далеко отстоитъ отъ обоихъ начальныхъ тоновъ, чтобы съ ними давать дрожанія; но съ тономъ 200 онъ составляетъ невѣрную октаву, а таковая, какъ мы видѣли выше, даетъ дрожанія. Эти дрожанія происходятъ отъ того, что тонъ 101 образуетъ съ тономъ 200 новый комбинаціонный тонъ 99, который даетъ съ тономъ 101 два дрожанія. Слѣдовательно, этими двумя дрожаніями невѣрная квинта двухъ простыхъ тоновъ отличается отъ вѣрной, и число этихъ дрожаній опять таки столь же велико, какъ будто бы дрожанія были воспроизведены верхними тонами; но для того, чтобы наблюдать эти дрожанія, оба начальные тона должны быть сильны и посторонній шумъ не долженъ мѣшать наблюдателю. Если же наблюдаютъ при благопріятныхъ условіяхъ, то ихъ не трудно слышать.

Въ невѣрной квартѣ, коей числа колебаній пусть будутъ 300 къ 401, первый комбинаціонный тонъ 101; этотъ тонъ съ тономъ 300 даетъ комбинаціонный тонъ втораго порядка 199, а этотъ послѣдній съ тономъ 401 даетъ разность 202, т. е. комбинаціоный тонъ третьяго порядка, который дѣлаетъ три дрожанія съ комбинаціоннымъ тономъ втораго порядка 199, т. е. столько же, сколько было бы воспроизведено верхними тонами обоихъ начальныхъ тоновъ 1200 и 1203, если бы они существовали. Эти дрожанія кварты уже весьма слабы и при сильныхъ начальныхъ тонахъ. Для ихъ наблюденія слѣдуетъ быть совершенно ничѣмъ не развлекаемымъ и весьма внимательнымъ.

Дрожанія невѣрной большой терціи едва еще воспринимаемы и при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ. Если мы возьмемъ числа колебаній начальныхъ тоновъ 400 и 501 то:

501 — 400 = 101 комбинаціонный тонъ перваго порядка
400 — 101 = 299 » » втораго »
501 — 299 = 202 » » третьяго »
400 — 202 = 198 » » четвертаго »

Тоны 202 и 198 даютъ 4 дрожанія. Шейблеръ (Scheibler) могъ еще сосчитать эти дрожанія невѣрной большой терціи; мнѣ казалось самому, что я ихъ слышалъ при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ; но они во всякомъ случаѣ такъ трудно воспринимаемы, что не могутъ быть приняты во вниманіе при опредѣленіи различія между консонансами и диссонансами.

И такъ, отсюда слѣдуетъ, что различные интервалы, которые лежатъ вблизи терціи, могутъ составить такое же благозвучное звуковое сочетаніе двухъ простыхъ тоновъ какъ она сама, если они съ одной стороны не слишкомъ приближаются къ секундѣ, а съ другой къквартѣ, и я долженъ на основаніи моихъ опытовъ надъ закрытыми органными трубками, какъ бы это не противорѣчило правиламъ музыкальной теоріи, утверждать, что этотъ выводъ согласуется съ дѣйствительностью, предполагая, что для опыта пользовались дѣйствительно простыми тонами.

Тоже самое относится и къ сосѣднимъ большой секстѣ интерваламъ, которые по благозвучію отъ нея ни въ чемъ не отличаются, пока достаточно удалены отъ квинты и октавы; поэтому, въ то время какъ совершенно нетрудно настраивать вѣрныя большія и малыя терціи на гармоніонѣ или на другихъ язычковыхъ трубкахъ, или же на скрипкѣ, издавая одновременно оба настраиваемые тона и стараясь уничтожить дрожанія, это совершенно невозможно сдѣлать безъ помощи другихъ интерваловъ при закрытыхъ органнахъ трубкахъ и камертонахъ. Мы впослѣдствіи увидимъ какъ можно совершенно точно настраивать эти интервалы при простыхъ тонахъ, какъ только будетъ воспроизведено разомъ болѣе двухъ тоновъ.

Между звуками со многими и сильными верхними тонами, примѣрами которыхъ могутъ для насъ служить язычковыя трубки и скрипки, и совершенно простыми тонами камертоновъ и закрытыхъ органныхъ трубокъ, находятся такіе, у которыхъ слышимы только нижайшіе верхніе тоны, какъ это бываетъ въ длинныхъ открытыхъ органныхъ трубкахъ и въ человѣческомъ голосѣ при болѣе неявственныхъ гласныхъ. Въ этихъ послѣднихъ одни верхніе тоны не были бы достаточны для ограниченія всѣхъ консонирующихъ интерваловъ, но это тѣмъ не менѣе достигается помощью первыхъ разностныхъ тоновъ.

A. Звуки, которые вмѣстѣ съ основнымъ тономъ даютъ еще слышать въ качествѣ верхняго тона октаву; квинта и кварта не ограничены дрожаніями верхнихъ тоновъ а только дрожаніями разностныхъ тоновъ.

a. Квинта. Пусть числа колебаній основныхъ тоновъ будутъ 200 и 301; къ нимъ присоединяются ихъ верхніе тоны 400 и 602; эти четыре тона слишкомъ отдалены другъ отъ друга, чтобы давать дрожанія; но разностные тоны

301 — 200 = 101
400 — 301 = 99
разность 2

даютъ два дрожанія, а именно, число этихъ дрожаній опять таки также велико, какъ будто бы они были воспроизведены ближайшими болѣе высокими верхними тонами; именно

$$2.301 - 3.200 = 2.$$

b. Кварта. Пусть числа колебаній начальныхъ тоновъ будутъ 300 и 401, а присоединяющихся къ нимъ верхнихъ тоновъ 600 и 802; они еще не даютъ дрожаній; но первые разностные тоны

600 — 401 = 199
802 — 600 = 202
разность 3

даютъ три дрожанія.

Для терцій должны были бы еще входить комбинаціонные тоны втораго порядка.

B. Звуки, которые вмѣстѣ съ основнымъ тономъ даютъ слышать дуодециму. Примѣръ подобныхъ звуковъ даютъ узкія закрытыя органныя трубки (регистръ квинтатъ). Въ этомъ случаѣ происходитъ тоже самое, что слышится при сопровождающей основной тонъ октавѣ.

a. Квинта. Основные тоны 200 и 301 съ верхними тонами 600 и 903. Первый разностный тонъ

903 — 600 = 303
квинта = 301
число дрожаній 2

b. Кварта. Основные тоны 300 и 401 съ верхними тонами 900 и 1203. Первый разностный тонъ

1203 — 900 = 303
основной тонъ = 300
число дрожаній 3

Дрожанія терцій могутъ наступать и въ этомъ случаѣ только посредствомъ слабыхъ вторыхъ разностныхъ тоновъ.

С. Звуки, въ которыхъ вмѣстѣ съ основными тонами слышимы одновременно какъ верхніе тоны октавы и дуодецимы. Примѣры такого рода звуковъ даютъ длинныя (деревянныя) открытыя органныя трубки (регистръ принципаловъ). Въ этихъ послѣднихъ, квинты уже ограничены дрожаніями верхнихъ тоновъ, а кварты еще нѣтъ. Здѣсь первые разностные тоны достаточны также для ограниченія обѣихъ терцій.

a. Большая терція. Основные тоны 400 и 501 съ октавами 800 и 1002 и дуодецимами 1200 и 1503. Первые разностные тоны

$$1002 - 800 = 202$$
$$1200 - 1002 = 188$$

число дрожаній 4.

b. Малая терція. Основные тоны 500 и 601, октавы 1000 и 1202, дуодецимы 1500 и 1803. Разностные тоны

$$1500 - 1202 = 298$$
$$1803 - 1500 = 303$$

число дрожаній 5.

c. Большая секста. Основные тоны 300 и 501, октавы 600 и 1002, дуодецимы 900 и 1503. Разностные тоны

$$600 - 501 = 99$$
$$1002 - 900 = 102$$

число дрожаній 3.

Въ самомъ дѣлѣ, при открытыхъ органныхъ трубкахъ не только легко слышимы дрожанія невѣрныхъ квинтъ и квартъ, но также и дрожанія невѣрныхъ большихъ и малыхъ терцій, и этимъ можно непосредственно пользоваться для настраиванія упомянутыхъ трубокъ.

И такъ, гдѣ верхніе тоны вслѣдствіе рода звуковъ недостаточны, комбинаціонные тоны являются въ видѣ дополненія для того, чтобы обратить въ источникъ дрожаній и грубости звуковаго сочетанія всякую невѣрность консонирующихъ интерваловъ октавы, квинты, кварты, большой сексты, большой и малой терціи и отличить названные интервалы отъ всѣхъ сосѣднихъ. Только для совершенно простыхъ тоновъ, намъ до сихъ поръ недостаетъ средствъ къ опредѣленію терцій; кромѣ того дрожанія, нарушающія благозвучіе невѣрныхъ квинтъ и квартъ, относительно слишкомъ слабы, чтобы произвести на ухо замѣтное дѣйствіе, потому что они происходятъ отъ комбинаціонныхъ тоновъ высшаго порядка. Я уже упомянулъ, что двѣ закрытыя органныя трубки, коихъ интервалъ лежитъ между большою и малою терціею, даютъ точно такой же хорошій консонансъ, какъ будто бы интервалъ въ точности соотвѣтствовалъ большой или малой терціи. Я этимъ не хочу сказать, что привычное музыкальное ухо не признало бы подобный интервалъ за чуждый и непривычный, что пожалуй объяснили бы тѣмъ, что онъ фальшивъ; но непосредственное впечатлѣніе на ухо, простое чувственное благозвучіе, независимое отъ всякаго музыкальнаго навыка, нисколько не хуже впечатлѣнія вѣрныхъ интерваловъ.

Иное дѣло, когда сходятся болѣе двухъ тоновъ. Мы видѣли, что при простыхъ тонахъ октавы въ точности ограничены дрожаніями перваго разностнаго тона съ основнымъ тономъ. Представимъ себѣ теперь вѣрно настроенную октаву и вставимъ между ея обоими тонами третій тонъ, квинту; при этомъ какъ только послѣдняя не будетъ вѣрна, мы получимъ дрожанія первыхъ разностныхъ тоновъ.

Пусть будутъ даны тоны, составляющіе вѣрную октаву 200 и 400 и невѣрная квинта 301. Разностные тоны

$$400 - 301 = 99$$
$$301 - 200 = 101$$

даютъ 2 дрожанія.

Эти дрожанія квинты, лежащей между двумя тонами октавы, гораздо болѣе явственны, чѣмъ дрожанія одной квинты безъ октавы. Послѣднія происходятъ отъ слабыхъ разностныхъ тоновъ втораго порядка, а первыя отъ разностныхъ тоновъ перваго порядка; поэтому уже Шейблеръ предписывалъ для настраиванія камертоновъ сначала вѣрно настроить два изъ нихъ въ октавѣ и затѣмъ, чтобы настроить квинту, заставлять звучать ихъ оба одновременно съ этою послѣднею. Если квинта и октава настроены вѣрно, то онѣ даютъ также вѣрную кварту.

Тоже самое происходитъ и тогда, когда настроили два простые тона вѣрно въ квинтѣ и желаютъ ввести между ними третій тонъ какъ большую терцію. Пусть тоны вѣрной квинты будутъ 400 и 600; если бы мы желали ввести между обоими тонами невѣрную большую терцію 501, вмѣсто 500, то мы бы имѣли слѣдующіе разностные тоны

$$600 - 501 = 99$$
$$501 - 400 = 101.$$

которые даютъ 2 дрожанія.

Большая секста опредѣлится, какъ только мы ее соединимъ съ

квартою. Пусть тоны 300 и 400 будутъ вѣрною квартою, а 501 невѣрною секстою: тогда мы будемъ имѣть разностные тоны

$$501 - 400 = 101$$
$$400 - 300 = 100,$$

которые даютъ 1 дрожаніе.

Если мы желаемъ ввести еще тонъ между двумя тонами, находящимися между собою въ отношеніи вѣрной кварты 300 и 400, то это только можетъ быть уменьшенная терція 350. Если мы возьмемъ 351, то получимъ разностные тоны

$$400 - 351 = 49$$
$$351 - 300 = 51,$$

которые даютъ 2 дрожанія.

Однако эти интервалы $^8/_7$ и $^7/_6$ вообще становятся уже слишкомъ тѣсными, чтобы еще давать консонансы; поэтому они могутъ попадаться только въ слабо диссонирующихъ аккордахъ (септаккордахъ).

Если мы сгруппируемъ выводы нашихъ изслѣдованій о дрожаніяхъ, то окажется, что два или нѣсколько тоновъ только тогда могутъ ненарушимо звучать вмѣстѣ, когда ихъ интервалы имѣютъ нѣкоторыя совершенно точно опредѣленныя значенія. Такое ненарушимое звучаніе многихъ звучащихъ вмѣстѣ тоновъ мы называемъ **консонансомъ**. Какъ только эти въ точности опредѣленныя отношенія консонанса соблюдены не будутъ, произойдутъ дрожанія, т. е. цѣлые звуки, или отдѣльные частные тоны, или же комбинаціонные тоны этихъ звуковъ будутъ попеременно усиливать и ослаблять другъ друга. Слѣдовательно, звуки уже тогда не существуютъ въ ухѣ другъ возлѣ друга ненарушенными, но взаимно задерживаютъ свое равномѣрное теченіе. Это явленіе мы называемъ **диссонансомъ**.

Комбинаціонные тоны составляютъ самую обыкновенную причину воспроизведенія дрожаній; а при простыхъ тонахъ, удаленныхъ другъ отъ друга на малую терцію или болѣе, они составляютъ единственную причину этого явленія. При двухъ тонахъ они вполнѣ достаточны для ограниченія квинты и во всякомъ случаѣ кварты, но не для ограниченія терцій и секстъ. Однако и эти послѣднія ограничиваются вполнѣ, какъ только большая терція будетъ въ сочетаніи съ квинтою въ мажорномъ трезвучіи, а секста съ квартою въ квартсекстаккордѣ.

Въ звуковомъ сочетаніи, составленномъ только изъ двухъ тоновъ, терціи вполнѣ также ограничиваются явственно распознаваемыми дрожаніями невѣрно настроенныхъ интерваловъ, какъ только къ основному тону присоединятся два верхніе тона. Дрожанія невѣрныхъ

интерваловъ становятся тѣмъ сильнѣе и рѣзче, чѣмъ многочисленнѣе и сильнѣе верхніе тоны въ начальныхъ звукахъ. Отличіе диссонансовъ отъ консонансовъ и невѣрно настроенныхъ консонансовъ отъ вѣрно настроенныхъ выражается этимъ все рѣшительнѣе и рѣзче, что имѣетъ большое значеніе какъ для увѣренности, съ которою слушатель признаетъ вѣрные интервалы, такъ и для сильнѣйшаго художественнаго дѣйствія послѣдовательноэти аккордовъ. Если наконецъ болѣе высокіе верхніе тоны становятся относительно слишкомъ сильными (въ рѣзкихъ и дребезжащихъ оттѣнкахъ), то каждый отдѣльный звукъ производитъ прерывныя слуховыя ощущенія посредствомъ диссонансовъ своихъ верхнихъ тоновъ и всякое сочетаніе двухъ или болѣе такого рода звуковъ производитъ замѣтное усиленіе этой рѣзкости въ тоже время, какъ большое количество верхнихъ и комбинаціонныхъ тоновъ весьма затрудняетъ слушателя слѣдить за сложнымъ голосоведеніемъ.

Эти явленія имѣютъ наибольшее значеніе для примѣненія различныхъ инструментовъ въ различныхъ родахъ музыкальныхъ композицій. Условія, которыя должны быть принимаемы во вниманіе при выборѣ соотвѣтствующихъ инструментовъ для цѣлаго оркестра и для отдѣльныхъ музыкальныхъ фразъ въ сочиненіяхъ, написанныхъ для оркестра, весьма разнообразны. Прежде всего многое зависитъ отъ степени звукоподвижности и силы тона различныхъ инструментовъ; это понимается само собою и намъ нѣтъ надобности это объяснять подробнѣе. Смычковые инструменты и фортепіано, затѣмъ флейты и гобои превосходятъ своею звукоподвижностью всѣ другіе инструменты. Противуположность имъ составляютъ трубы и тромбоны, издающіе звуки тяжело и съ трудомъ; напротивъ силою, они превосходятъ всѣ другіе инструменты. Другое существенное условіе заключается въ силѣ выраженія, которая зависитъ главнымъ образомъ отъ того, что допускаетъ ли легко сила тона всякую степень усиленія и ослабленія быстро и вѣрно по волѣ исполнителя. Въ этомъ отношеніи смычковые инструменты и человѣческій голосъ опять таки превосходятъ всѣ другіе. Язычковые инструменты, духовые деревянные, равно какъ и мѣдные инструменты не могутъ превзойдти извѣстной силы безъ того, чтобы ихъ язычекъ не переставалъ колебаться. Флейты и органныя трубки не могутъ вообще значительно измѣнять свою силу безъ одновременнаго измѣненія своей высоты тона. Хотя на фортепіано исполнитель владѣетъ по произволу силою перваго удара, но за то онъ не владѣетъ продолжительностью тона; дѣйствительно отъ этого возможно весьма утонченное владѣніе ритмическими ударами на этомъ инструментѣ, но собственно мелодическое выраженіе въ немъ недостаточ-

но. Всѣ эти моменты имѣютъ свое вліяніе на употребленіе названныхъ инструментовъ; ихъ легко наблюдать и они были извѣстны и примѣняемы издавна. Труднѣе было опредѣлить собственно вліяніе оттѣнка; однако наши изслѣдованія о сложеніи звуковъ дали намъ средства отдать себѣ отчетъ, по крайней мѣрѣ въ главнѣйшихъ различіяхъ дѣйствія звуковаго сочетанія различныхъ инструментовъ и показать какимъ путемъ задача эта можетъ быть рѣшена, хотя въ частностяхъ здѣсь еще и остается обширное поле для болѣе подробныхъ изслѣдованій.

Начнемъ съ простыхъ тоновъ длинныхъ закрытыхъ органныхъ трубъ. Звуки ихъ сами по себѣ очень мягки, весьма нѣжны и въ нижней части скалы заглушенны; вверху же во всякомъ случаѣ благозвучны. Но для гармонической музыки, по крайней мѣрѣ для нашего настоящаго музыкальнаго чувства, они совершенно неподходящи. Мы вывели, что для подобныхъ простыхъ тоновъ, диссонансъ, характеризованный сильными дрожаніями, даютъ только тѣсные интервалы секундъ. Невѣрныя октавы и сосѣднія октавѣ диссонирующіе интервалы септимы и ноны даютъ дрожанія перваго комбинаціоннаго тона, которыя однако относительно уже слабы въ сравненіи съ дрожаніями воспроизводимыми верхними тонами. Дрожанія невѣрныхъ квинтъ и квартъ вполнѣ еще слышимы только при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ; поэтому впечатлѣніе диссонирующихъ интерваловъ, за исключеніемъ секундъ, отличается вообще только весьма немного отъ впечатлѣнія консонансовъ, и отсюда слѣдуетъ, что гармонія теряетъ весь свой характеръ, а слушатель вѣрное чувство къ различенію интерваловъ. Если на органѣ играютъ полифоническія сочиненія, въ которыя входятъ самые рѣзкіе и смѣлые диссонансы, при закрытомъ регистрѣ, то все звучитъ почти одинаково мягко и благозвучно, но за то и неопредѣленно, скучно, слабо, безхарактерно и безъ энергіи. Я прошу каждаго изъ моихъ читателей, если онъ будетъ имѣть случай, убѣдиться въ этомъ на дѣлѣ. Нѣтъ лучшаго доказательства той существенной роли, какую играютъ верхніе тоны въ музыкѣ, какъ описанное впечатлѣніе такой музыки, составленной изъ простыхъ тоновъ; поэтому употребленіе длинныхъ закрытыхъ органныхъ регистровъ ограничивается воспроизведеніемъ отдѣльныхъ музыкальныхъ фразъ весьма нѣжнаго характера въ противоположность рѣзкимъ регистрамъ; ихъ обыкновенно только и употребляютъ въ соединеніи съ другими регистрами для усиленія основнаго тона послѣднихъ. Къ длиннымъ закрытымъ органнымъ трубамъ подходятъ всего ближе по оттѣнку звука флейты и флейтовые регистры органа (слабо вдуваемыя открытыя трубки). Въ нихъ уже къ основному тону ясно присоединяется октава, а при рѣз-

комъ вдуваніи и дуодецима. Въ этомъ случаѣ уже октавы и квинты ограничены верхними тонами рѣзче, а терціи и сексты еще только слабо комбинаціонными тонами; поэтому, музыкальный характеръ флейтъ весьма подобенъ описанному передъ этимъ характеру закрытыхъ органныхъ трубокъ, что весьма хорошо выражается извѣстною остротою, что для музыкальнаго уха нѣтъ ничего ужаснѣе флейтоваго соло, если это только не флейтовый дуэтъ. Напротивъ, въ соединеніи съ другими инструментами, которые явственно выдѣляютъ гармоническое сочетаніе, флейта, вслѣдствіе полнѣйшей мягкости своего тона и вслѣдствіе своей звукоподвижности, необыкновенно пріятна и привлекательна, и не можетъ быть замѣнена никакимъ другимъ инструментомъ. Въ древней музыкѣ флейта играла гораздо болѣе значительную роль, чѣмъ въ современной, что вѣроятно находится въ связи съ общимъ характеромъ классическаго идеала искусства. Вообще классическое искусство устраняло изъ своихъ твореній всё непосредственно непріятное органамъ чувствъ и ограничивалось только чисто прекраснымъ, тогда какъ современное искусство требуетъ бóльшія средства къ выраженію и поэтому принимаетъ до извѣстной степени и то, что само по себѣ противорѣчитъ нашему чувственному довольству. Однако даже и въ древности, истинные любители музыки выражали предпочтеніе болѣе рѣзкимъ звукамъ струнныхъ инструментовъ передъ нѣжными звуками флейты.

Для гармоническихъ требованій сложной полифонической музыки, регистры открытыхъ органныхъ трубъ составляютъ благопріятную средину и поэтому они называются регистромъ принципаловъ. Они даютъ явственно слышимые низкіе верхніе тоны; длинныя трубы до третьяго частнаго тона, короткія (главный регистръ скрипокъ) до шестаго. Длинныя трубы имѣютъ болѣе силы, чѣмъ короткія; для того, чтобы имъ придать болѣе рѣзкости, соединяютъ весьма часто восьмифутовой регистръ, содержащій въ себѣ главные голоса, съ четырехфутовымъ, который присоединяетъ къ каждой нотѣ ея октаву, или же соединяютъ регистръ принципаловъ съ главнымъ регистромъ скрипокъ, такъ что первый даетъ силу, а второй рѣзкость. Такимъ образомъ воспроизводятъ оттѣнки, которые въ себѣ содержатъ верхніе тоны до шестаго, которые при восхожденіи равномѣрно убываютъ въ силѣ и при которыхъ поэтому чувство къ вѣрности консонирующихъ интерваловъ опредѣлено весьма явственно; консонансы и диссонансы различаются весьма рѣзко, при чемъ однако неизбѣжные слабые диссонансы высшихъ верхнихъ тоновъ въ несовершенныхъ консонансахъ не дѣлаются слишкомъ замѣтными, такъ что число и сила побочныхъ тоновъ не можетъ ввести слушателя въ заблужденіе относительно голосоведенія. Въ этомъ отношеніи органъ

имѣетъ преимущество, которое другіе инструменты не представляютъ въ той же степени, а именно то, что исполнитель можетъ сочетать и измѣнять оттѣнки какъ ему угодно и какъ они болѣе подходятъ къ характеру исполняемой имъ пьесы.

Узкія закрытыя трубки (квинтаты) въ которыхъ основной тонъ сопровожденъ дуодецимою, рорфлейты, у которыхъ кромѣ третьяго тона входитъ еще и пятый, коническія открытыя трубы, какъ напр. регистра гемсгорнъ, усиливающія болѣе извѣстные высшіе верхніе тоны низшихъ, всѣ онѣ служатъ только для того, чтобы дать отдѣльнымъ голосамъ извѣстные характеристичные оттѣнки и этимъ отличить ихъ отъ остальныхъ. Онѣ мало пригодны для образованія главной звуковой массы въ гармоніи.

Наконецъ совершенно рѣзкіе оттѣнки получаютъ посредствомъ язычковыхъ трубокъ и регистра микстуръ органа. Послѣднія, какъ это уже было объяснено прежде, суть искусственныя воспроизведенія естественнаго сочетанія всѣхъ звуковъ, потому что каждая клавиша одновременно заставляетъ звучать рядъ трубъ, которыя соотвѣтствуютъ отъ 3-хъ до 6-ти первымъ частнымъ тонамъ воспроизводимой ноты. Онѣ примѣнимы только для сопровожденія хороваго пѣнія; если ими пользоваться въ отдѣльности, то онѣ производятъ невыносимый шумъ и нестерпимое смѣшеніе тоновъ. Когда же въ пѣніи массъ выдѣляются въ нотахъ мелодіи основные тоны съ превосходною силою, то вѣрное отношеніе оттѣнковъ возстановляется снова и получается могущественная, находящаяся въ удовлетворительныхъ отношеніяхъ, масса тоновъ. Безъ помощи регистра микстуръ было бы также невозможно покрыть такую большую, воспроизведенную неопытными голосами звуковую массу.

Въ гармоническомъ отношеніи оттѣнки органа довольно сходны съ человѣческими голосами. Правда, что въ болѣе явственныхъ гласныхъ выдѣляются отдѣльные высоко лежащіе верхніе тоны, но они слишкомъ разбросаны, чтобы произвести существенное и проникающее вліяніе на звукъ аккордовъ. Этотъ послѣдній однако постоянно болѣе зависитъ отъ низкихъ, довольно равномѣрно проявляющихся при всѣхъ гласныхъ, верхнихъ тоновъ. Однако характерные тоны гласныхъ могутъ въ самомъ дѣлѣ играть особенную роль въ отдѣльныхъ консонансахъ. Напр., если два человѣческіе голоса поютъ вмѣстѣ терцію *bd'* на гласной *A*, то четвертый частный тонъ звука *b*, именно *b''* и третій звука *d'*, именно *a''*, попадутъ какъ разъ въ характерно сильные верхніе тоны гласной *A* и несовершенство консонанса терціи должно будетъ рѣзко обнаружиться въ диссонансѣ *a'' b''*, тогда какъ при выборѣ гласной *O*, диссонансъ этотъ долженъ исчезнуть. Съ другой стороны, кварта *b*, *es'*, спѣтая на гласную *A*,

будетъ звучать чисто, потому что тогда и вторая нота *es'* даетъ, какъ и низшая, тоже *b''* какъ верхній тонъ. Наоборотъ, если *A* измѣнить въ *AO* или *Ä*, то при этой квартѣ будутъ въ состояніи мѣшать или верхніе тоны *f''* и *es''*, или же *d'''* и *es'''*. Изъ этихъ разсужденій между прочимъ слѣдуетъ, что переводъ съ одного языка на другой текста сочиненія, написаннаго для пѣнія не безразличенъ для воспроизведенія полнаго музыкальнаго эффекта.

Не обращая вниманія на эти усиленія, которыя можетъ воспроизводить характеристическій резонансъ каждой гласной на отдѣльныхъ верхнихъ тонахъ, звуки человѣческаго пѣнія вообще сопровождаются низшими верхними тонами умѣренной силы и поэтому они, подобно регистру принципаловъ органа, хорошо приспособлены къ сочетанію аккордовъ; но кромѣ того, человѣческіе голоса, при исполненіи полифонической музыки, имѣютъ еще особое преимущество передъ органомъ и всѣми другими инструментами тѣмъ, что ими поются и слова; ноты, принадлежащія каждому отдѣльному голосу, соединяются другъ съ другомъ, а слова составляютъ для слушателя руководящую нить, которая даетъ ему легкую и вѣрную возможность находить и прослѣдить за принадлежащими другъ другу частями звуковой массы; поэтому то полифоническая музыка и вся новѣйшая система гармоніи первоначально развилась на человѣческомъ голосѣ, и дѣйствительно нѣтъ ничего благозвучнѣе какъ хорошо гармонизованныхъ многоголосныхъ сочиненій, исполненныхъ чисто и вѣрно привычными голосами; правда, что для полнаго благозвучія такихъ сочиненій необходимо то, чтобы пѣли по вѣрнымъ музыкальнымъ интерваламъ, а наши современные пѣвцы къ сожалѣнію этому рѣдко научаются, потому что ихъ пріучаютъ пѣть съ самаго начала въ сопровожденіи инструментовъ, настроенныхъ по равномѣрной темпераціи, слѣдовательно въ неточныхъ консонансахъ. Только такіе пѣвцы, которые сами обладаютъ утонченнымъ музыкальнымъ чувствомъ, находятъ сами собою въ этомъ отношеніи ту вѣрность, которую имъ школа дать не можетъ.

Смычковые инструменты, имѣющіе существенное значеніе въ музыкѣ, богаче верхними тонами и поэтому имѣютъ болѣе рѣзкій звукъ, чѣмъ человѣческій голосъ и регистръ принципаловъ органа. Вслѣдствіе своей чрезвычайной звукоподвижности и способности къ выраженію, они играютъ въ инструментальной музыкѣ главную роль, а вслѣдствіе умѣренной рѣзкости ихъ оттѣнка, они занимаютъ приблизительно средину между болѣе нѣжными флейтами и гремящими мѣдными инструментами. Между различными смычковыми инструментами существуетъ небольшое различіе въ томъ отношеніи, что альтъ и контрабасъ имѣютъ немного болѣе рѣзкій и сухой оттѣнокъ, т. е.

имѣютъ относительно болѣе рѣзкіе верхніе тоны, чѣмъ скрипка и віолончель. Слышимые верхніе тоны простираются до шестаго или восьмаго, смотря потому насколько смычекъ приближается къ грифу при *piano*, или же къ подставкѣ при *forte* и они равномѣрно убываютъ въ силѣ въ той же мѣрѣ, какъ число ихъ по порядку возрастаетъ; поэтому то на смычковыхъ инструментахъ различіе между консонансомъ и диссонансомъ выражено рѣзко и сильно, а чувство вѣрности интерваловъ весьма явственно; извѣстно именно то, что особенно опытные исполнители на скрипкѣ или на віолончелѣ обладаютъ чрезвычайно утонченнымъ слухомъ для различеній высоты тона. Однако съ другой стороны рѣзкость звуковъ опять-таки такъ велика, что нѣжныя пѣвучія мелодіи какъ то не идутъ уже къ смычковымъ инструментамъ и выполняются преимущественно въ оркестрѣ флейтами и кларнетами. Кромѣ того полнозвучные аккорды выходятъ также относительно слишкомъ грубо, такъ какъ при каждомъ консонирующемъ интервалѣ, тѣ верхніе тоны обоихъ звуковъ, которымъ приходится быть между собою въ диссонирующихъ отношеніяхъ, дѣлаются довольно замѣтными, въ особенности же въ терціяхъ и секстахъ. Къ этому, правда, присоединяется еще и то, что несовершенныя терціи и сексты употребляемой нынѣ музыкальной скалы отличаются уже весьма замѣтно на смычковыхъ инструментахъ отъ звука вѣрныхъ терцій и секстъ, если исполнитель не умѣетъ воспроизводить вѣрные натуральные интервалы, требуемые слухомъ; поэтому въ сочиненіяхъ для смычковыхъ инструментовъ обыкновенно только рѣдко и въ видѣ исключенія примѣняютъ протяжные аккорды, такъ какъ они не довольно благозвучны; напротивъ, обыкновенно предпочитаютъ быстрыя движенія, фигуры и аккорды въ арпеджіо, къ которымъ эти инструменты чрезвычайно приспособлены и въ которыхъ рѣзкость ихъ звуковыхъ сочетаній не можетъ дѣлаться столь замѣтною.

У смычковыхъ инструментовъ дрожанія происходятъ своеобразно, такъ какъ, по крайней мѣрѣ, равномѣрныя, медленныя и легко считаемыя дрожанія встрѣчаются рѣдко. Причина этого заключаются въ упомянутыхъ уже прежде малыхъ неправильностяхъ при дѣйствіи смычка на струну, которыя дѣлаются слышимыми въ качествѣ царапанія. Изъ наблюденій фигуры колебанія оказалось, что при всякомъ малѣйшемъ царапающемъ проведеніи смычкомъ, кривыя колебаній внезапно перемѣщаются на нѣкоторое протяженіе впередъ или назадъ, или выражаясь какъ физики, колебанія внезапно мѣняютъ свои фазы. Такъ какъ взаимное усиленіе или ослабленіе двухъ звучащихъ вмѣстѣ тоновъ зависитъ отъ разности фазъ, то всякимъ малѣйшимъ зацѣпленіемъ или царапаніемъ смычкомъ нарушается

также и ходъ дрожаній; если же исполняются два тона одинаковой высоты, то всякій скачёкъ фазы будетъ въ состояніи воспроизвести измѣненіе въ силѣ тона, подобно тому, какъ будто бы имѣлись неправильно и отрывисто проявляющіяся дрожанія; поэтому для воспроизведенія медленныхъ дрожаній или же для воспроизведенія равномѣрнаго теченія выдерживаемыхъ консонирующихъ аккордовъ, необходимы лучшіе инструменты и самые хорошіе исполнители. Я полагаю, что въ этомъ слѣдуетъ искать одну изъ причинъ почему смычковый квартетъ, исполняемый музыкантами, изъ которыхъ каждый самъ по себѣ можетъ вполнѣ пріятно играть соло, иногда звучитъ такъ невыносимо грубо и рѣзко, что онъ совсѣмъ не въ правильномъ отношеніи съ тѣми малыми грубостями, которыя воспроизводитъ каждый отдѣльный исполнитель. При моихъ наблюденіяхъ надъ фигурами колебаній, я нашелъ, что было бы трудно избѣгнуть того, чтобы въ теченіи каждой секунды не произошелъ разъ или два скачёкъ въ фигурѣ колебанія. Если при этомъ въ игрѣ соло тонъ струны прерывается на почти неуловимо малые моменты, что едва замѣчается слушателемъ, то въ квартетѣ, въ которомъ издается аккордъ, коего всѣ тоны имѣютъ общій верхній тонъ, это даетъ уже 4 или 8 внезапно и неправильно наступающихъ перемѣнъ силы подобнаго общаго тона, которыя не могутъ пройти незамѣченными; поэтому то для хорошаго ансамбля необходима гораздо большая вѣрность, чѣмъ для исполненія соло.

Фортепіано имѣетъ главное значеніе между тѣми струнными инструментами, коихъ струны ударяются. Изъ приведеннаго выше анализа его звуковъ выходитъ, что его низкія октавы богаты верхними тонами, а верхнія, напротивъ, относительно бѣдны. Въ низшихъ октавахъ второй и третій частные тоны нерѣдко также сильны, какъ и основной тонъ, а второй частный тонъ бываетъ даже сильнѣе. Отсюда слѣдуетъ, что диссонансы, сосѣдніе октавѣ, септимы и ноны, выходятъ почти также рѣзко какъ секунды, и что увеличенныя и уменьшенныя дуодецимы и квинты также довольно грубы. Напротивъ, четвертый, пятый и шестой частные тоны, которые служатъ къ ограниченію терцій, быстро ниспадаютъ въ силѣ, такъ что терціи ограничены относительно гораздо менѣе рѣзко, чѣмъ октавы, квинты и кварты. Послѣднее обстоятельство важно потому, что оно дѣлаетъ на фортепіано болѣе сложными неточныя терціи темпераціонной настройки, чѣмъ на другихъ инструментахъ съ болѣе рѣзкими оттѣнками, въ то время какъ октавы, квинты и кварты все таки ограничены рѣзко и точно. Не смотря на относительное богатство верхними тонами, впечатлѣніе диссонансовъ на фортепіано далеко не такъ сильно какъ на инструментахъ съ продолжительно длящимися то-

нами, потому что тонъ фортепіано имѣетъ большую силу только въ моментъ начальнаго удара и затѣмъ весьма быстро ниспадаетъ въ силѣ, такъ что дрожанія, характеризующія диссонансы, не имѣютъ времени проявляться во время перваго сильнаго удара тона; они только образуются въ то время какъ тонъ уже ниспадаетъ въ своей силѣ; поэтому въ новѣйшей фортепіанной музыкѣ, въ особенности же съ тѣхъ поръ какъ Бетховенъ научилъ принимать во вниманіе характеристическія особенности инструмента въ композиціи, находятъ удвоеніе и сочетаніе диссонирующихъ интерваловъ, которое было бы совершенно невыносимо на другихъ инструментахъ. Въ этомъ можно легко убѣдиться, если попробовать сыграть новѣйшія сочиненія для фортепіано на гармоніонѣ или на органѣ.

Инструментальные мастера, руководимые только привычнымъ слухомъ, а не какою либо теоріею, нашли выгоднымъ расположить мѣсто, ударяемое молоткомъ такъ, чтобы седьмой частный тонъ совершенно исчезалъ, а шестой хотя бы и сохранялся, но весьма слабо; это очевидно находится въ связи съ построеніемъ нашей системы тоновъ. Пятый и шестой частные тоны служатъ для того, чтобы ограничивать малую терцію; такимъ же образомъ посредствомъ совпадающихъ верхнихъ тоновъ опредѣлены почти что всѣ интервалы, считаемые въ современной музыкѣ консонансами, а именно: октава, квинта и кварта посредствомъ относительно сильныхъ верхнихъ тоновъ, большая секста и большая терція посредствомъ слабыхъ, а малая терція посредствомъ самыхъ слабыхъ. Если бы еще входилъ седьмой частный тонъ, то уменьшенная септима 4 : 7 мѣшала бы благозвучію малой сексты, уменьшенная квинта 5 : 7 благозвучію квинты и кварты, уменьшенная терція 6 : 7 малой терціи, при чемъ бы съ точностью не опредѣлилось новыхъ музыкально примѣнимыхъ интерваловъ.

Мы уже упоминали объ одной болѣе важной особенности въ выборѣ оттѣнка; а именно, что высокіе тоны фортепіано имѣютъ гораздо меньше и гораздо слабѣйшіе верхніе тоны, чѣмъ низшіе тоны. Эта особенность выражена на этомъ инструментѣ гораздо явственнѣе, чѣмъ на другихъ и для этого можетъ быть легко приведено музыкальное основаніе. Высокія ноты воспроизводятся по правилу одновременно съ низкими и ихъ отношеніе къ этимъ послѣднимъ легко опредѣлится посредствомъ значительно восходящихъ верхнихъ тоновъ низкихъ нотъ. Если интервалъ между басовою и дискантовою нотами включаетъ болѣе двухъ и менѣе трехъ октавъ, то вторая октава, высшая терція и квинта басоваго тона лежатъ совершенно вблизи ноты дисканта и даютъ съ нею непосредственно консонансъ или диссонансъ; безъ посредства верхнихъ тоновъ дискантовой ноты. И такъ, высшія ноты фортепіано получили бы отъ верхнихъ тоновъ только болѣе рѣзкій оттѣнокъ, при чемъ для музыкальной характеристики этимъ ничего бы не было выиграно; въ хорошихъ инструментахъ строеніемъ молотковъ дѣйствительно достигается то, что ноты высшихъ октавъ сопровождаются только слабо еще вторымъ тономъ; тогда онѣ звучатъ мягко и пріятно, подобно флейтѣ. Другіе же инструментальные мастера предпочитаютъ дѣлать эти ноты звонкими и пронзительными, подобно звукамъ флейты-пикколо тѣмъ, что переносятъ совершенно къ концу мѣсто удара высшихъ струнъ и этимъ пріемомъ выдѣляютъ сильнѣе верхніе тоны; но вслѣдствіе этого оттѣнокъ этихъ струнъ отдѣляется отъ характера остальныхъ звуковъ инструмента и теряетъ во всякомъ случаѣ свою прелесть.

На многихъ другихъ инструментахъ, коихъ конструкція не позволяетъ измѣнять такъ свободно оттѣнокъ какъ на фортепіано, съумѣли достигнуть подобнаго же видоизмѣненія оттѣнка сообразно высотѣ другими способами. У смычковыхъ инструментовъ служитъ для этого резонансъ ящика инструмента, коего собственные тоны лежатъ въ предѣлахъ нижайшей октавы скалы инструмента. Такъ какъ частные тоны звучащихъ струнъ передаются воздуху настолько сильнѣе, насколько они ближе къ частнымъ тонамъ ящика инструмента, то при высокихъ нотахъ этихъ инструментовъ, основные тоны гораздо болѣе усиливаются верхними тонами резонанса, чѣмъ при низкихъ. Напротивъ, при нижайшихъ нотахъ скрипки, не только основной тонъ, но также его октава и дуодецима благопріятствуются резонансомъ, такъ какъ нижайшій собственный тонъ ящика инструмента лежитъ между основнымъ тономъ и первымъ верхнимъ тономъ, а болѣе высокій собственный тонъ между первымъ и вторымъ верхними тонами. На органѣ при регистрѣ микстуръ происходитъ также нѣчто подобное, потому что ряды верхнихъ тоновъ, воспроизводимые отдѣльными трубами, меньше для высокихъ нотъ регистра, чѣмъ для низкихъ. Слѣдовательно въ то время какъ каждою клавишею низшихъ октавъ открываютъ шесть трубъ, соотвѣтствующихъ первымъ шести частнымъ тонамъ ея ноты, въ обѣихъ верхнихъ октавахъ прибавляютъ къ основному тону только октаву и дуодециму, или же одну октаву.

Подобное же отношеніе находится и въ человѣческомъ голосѣ, хотя оно и мѣняется разнообразно отъ различныхъ гласныхъ. Если сравниваютъ высокія и низкія ноты, которыя поются на одну и туже гласную, то резонансъ полости рта обыкновенно еще усиливаетъ относительно высокіе верхніе тоны низкихъ нотъ баса, тогда какъ у сопрано всѣ верхніе тоны выходятъ гораздо слабѣе, когда

поющаяся нота приближается къ характеристической высотѣ тона гласной или же ее превосходитъ; поэтому то вообще, по крайней мѣрѣ при открытыхъ гласныхъ, слышимые верхніе тоны баса гораздо многочисленнѣе верхнихъ тоновъ сопрано.

Намъ остается еще разсмотрѣть искусственные язычковые инструменты, т. е. духовые деревянные и мѣдные инструменты. Между первыми болѣе мягкимъ оттѣнкомъ отличается кларнетъ, между вторыми рогъ; тогда какъ съ одной стороны фаготъ и гобой, а съ другой тромбонъ и труба представляютъ, употребляемые въ музыкѣ наиболѣе рѣзкіе оттѣнки.

Не смотря на то, что употребляемые въ такъ называемой гармонической музыкѣ валторны имѣютъ гораздо менѣе дребезжащій звукъ, чѣмъ собственно трубы съ неизмѣнною непросверленною трубкою, тѣмъ не менѣе число и сила ихъ верхнихъ тоновъ слишкомъ велики для благозвучія, въ особенности же несовершенныхъ консонансовъ; аккорды этихъ инструментовъ звучатъ весьма шумно и рѣзко, такъ что они выносимы только на открытомъ воздухѣ. Въ художественной оркестровой музыкѣ трубы и тромбоны, безъ которыхъ нельзя обойтись вслѣдствіе ихъ пронзительной силы, допускаютъ большею частью звучать вмѣстѣ только въ немногихъ и по возможности совершенныхъ консонансахъ.

Кларнетъ отличается отъ остальныхъ духовыхъ оркестровыхъ инструментовъ тѣмъ, что въ немъ недостаетъ четныхъ верхнихъ тоновъ, что влечетъ за собою въ дѣйствіи его звуковыхъ сочетаній нѣкоторыя особыя уклоненія. Если два кларнета звучатъ вмѣстѣ, то всѣ консонирующіе интервалы, за исключеніемъ большой сексты 3 : 5 и дуодецимы 1: 3, будутъ ограничены только комбинаціонными тонами. Однако для воспроизведенія дрожаній невѣрныхъ консонансовъ во всѣхъ случаяхъ достаточны разностные тоны перваго порядка, т. е. сильнѣйшіе изъ всѣхъ комбинаціонныхъ тоновъ. Отсюда слѣдуетъ, что консонансы двухъ кларнетовъ имѣютъ вообще мало рѣзкости и должны быть относительно благозвучны, что въ дѣйствительности и бываетъ, за исключеніемъ малой сексты и малой септимы, которыя лежатъ слишкомъ близко къ большой секстѣ, и ундецимы и терцдецимы, лежащихъ слишкомъ близко къ дуодецимѣ. Съ другой стороны если пользоваться кларнетомъ вмѣстѣ съ скрипкою или гобоемъ, то большинство консонансовъ должно звучать съ замѣтною разницею, смотря потому будетъ ли кларнетъ брать верхнюю или нижнюю ноту звуковаго сочетанія. Если напримѣръ кларнетъ беретъ *d'*, а гобой *fis'*, такъ что пятый тонъ кларнета совпадаетъ съ четвертымъ гобоя, то большая терція *d' fis'* должна звучать лучше. Нарушающія большую терцію пары верхнихъ тоновъ 3 : 4 и 5 : 6 существовать здѣсь не могутъ, потому что въ кларнетѣ недостаетъ четвертаго и шестаго частнаго тона. Если же мы воспроизведемъ *d'* гобоя, то *fis'* кларнета будетъ недоставать четвертаго совпадающаго тона, тогда какъ нарушающіе третій и пятый тоны будетъ въ наличности. Изъ подобныхъ же основаній слѣдуетъ, что если кларнетъ беретъ верхнюю ноту, то кварта и малая терція должны напротивъ звучать лучше. Такого рода опыты я дѣлалъ съ кларнетомъ и гармоніономъ при одномъ изъ его рѣзкихъ регистровъ, имѣющемъ четные верхніе тоны и который былъ настроенъ по вѣрнымъ интерваламъ, а не по равномѣрной темпераціи. Когда я издавалъ на кларнетѣ *b* и игралъ послѣдовательно на гармоніонѣ *es'*, *d'*, *des'*, то большая терція *b—d'* звучала лучше кварты *b—es'* и гораздо лучше малой терціи *b—des'*. Наоборотъ, издавая на кларнетѣ тотже тонъ *b* и играя послѣдовательно на гармоніонѣ *f*, *ges* и *g*, большая терція *ges—b* звучала грубѣе не только кварты *f—b*, но даже и малой терціи *g—b*.

Я привожу здѣсь этотъ примѣръ, на который меня навели чисто теоретическія соображенія вполнѣ подтвердившіяся на опытѣ, потому что въ немъ обнаруживается какъ измѣняется послѣдовательность консонансовъ примѣненныхъ къ обыкновеннымъ оттѣнкамъ, когда пользуются измѣненными оттѣнками.

Сказанное здѣсь вполнѣ достаточно для того, чтобы показать что нашимъ путемъ изслѣдованія можно найдти объясненіе многимъ особенностямъ въ дѣйствіяхъ звуковаго сочетанія различныхъ музыкальныхъ инструментовъ. Мы не будемъ здѣсь разбирать подробнѣе этотъ предметъ, потому что съ одной стороны намъ недостаетъ подготовительныхъ трудовъ, именно болѣе точныхъ изслѣдованій объ отдѣльныхъ видоизмѣненіяхъ оттѣнка, а съ другой потому, что дальнѣйшее изслѣдованіе этого вопроса отклонило бы насъ слишкомъ отъ нашей главной цѣли и имѣло бы менѣе общаго интереса, а скорѣе музыкально-техническій.

ГЛАВА XII.

Объ аккордахъ.

До сихъ поръ мы изучали дѣйствіе одновременнаго звучанія двухъ тоновъ находящихся между собою въ опредѣленныхъ интервалахъ; теперь довольно легко понять то что должно произойдти, если будутъ звучать вмѣстѣ болѣе двухъ тоновъ. Мы называемъ аккордами тѣ звуковыя сочетанія, которыя состоятъ изъ большаго числа чѣмъ двухъ отдѣльныхъ звуковъ. Спачала мы будемъ изучать благозвучіе аккордовъ совершенно въ томъ же смыслѣ, какъ при изученіи благозвучія двухъ звучащихъ вмѣстѣ тоновъ. Въ этой главѣ мы именно займемся только дѣйствіемъ, воспроизводимымъ аккордомъ изолированно, внѣ всякихъ музыкальныхъ соединеній и безъ всякаго отношенія къ *тонамъ*, гаммамъ, модуляціямъ и т. п. Первою нашею задачею будетъ опредѣлить, при какихъ условіяхъ аккорды созвучны. Для того чтобы аккордъ могъ быть созвучнымъ, ясно, что каждый изъ его тоновъ долженъ быть созвученъ со всякимъ другимъ, потому что если хоть два тона аккорда между собою диссонируютъ и даютъ дрожанія, то его благозвучіе нарушено. Мы получаемъ консонирующіе аккорды изъ трехъ тоновъ, какъ это не трудно замѣтить, въ томъ случаѣ, если къ основному тону, который мы назовемъ *c*, присоединимъ два другіе тона, изъ которыхъ каждый составляетъ съ *c* консонирующій интервалъ и затѣмъ посмотримъ, составляетъ ли также консонансъ, образовавшійся вновь интервалъ изъ присоединенныхъ тоновъ; если онъ дѣйствительно его составляетъ, то каждый изъ трехъ тоновъ будетъ созвученъ съ каждымъ изъ другихъ и аккордъ созвученъ.

Ограничимся покамѣстъ такими интервалами, которые меньше октавы. Между интервалами, которые не превосходятъ октаву, мы нашли слѣдующіе консонансы: 1) квинту *c*—*g* $^3/_2$; 2) кварту *c*—*f*, $^4/_3$, 3) большую сексту *c*—*a*, $^5/_3$; 4) большую терцію *c*—*e*, $^5/_4$; 5) малую терцію *c*—*es*, $^6/_5$; 6) малую сексту *c*—*as*, $^8/_5$; наконецъ къ нимъ еще присоединяется 7) натуральная септима *c*—*b*—, $^7/_4$, которая по бла-

гозвучію почти что подходитъ къ малой сектѣ. Слѣдующая таблица даетъ обзоръ аккордовъ, коихъ протяженіе менѣе октавы. Аккордъ долженъ состоять изъ основнаго тона *c*, одного изъ тоновъ перваго горизонтальнаго ряда и изъ одного изъ тоновъ перваго вертикальнаго ряда. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ соотвѣтствующіе обоимъ выбраннымъ тонамъ горизонтальный и вертикальный ряды между собою пересѣкаются, показанъ интервалъ, который между собою составляютъ оба выбранные тона. Этотъ послѣдній, когда онъ составляетъ консонансъ, напечатанъ курсивомъ, такъ что можно тотчасъ же найдти консирующіе аккорды.

C	$G\frac{3}{2}$	$F\frac{4}{3}$	$A\frac{5}{3}$	$E\frac{5}{4}$	$Es\frac{6}{5}$	$As\frac{8}{5}$
$G\frac{3}{2}$						
$F\frac{4}{3}$	Большая секунда $\frac{9}{8}$					
$A\frac{5}{3}$	Большая секунда $\frac{10}{9}$	*Большая терція* $\frac{5}{4}$				
$E\frac{5}{4}$	*Малая терція* $\frac{6}{5}$	Малая секунда $\frac{16}{15}$	*Кварта* $\frac{4}{3}$			
$Es\frac{6}{5}$	*Большая терція* $\frac{5}{4}$	Большая секунда $\frac{10}{9}$	Увеличенная кварта $\frac{25}{18}$	Малая секунда $\frac{25}{24}$		
$As\frac{8}{5}$	Малая секунда $\frac{16}{15}$	*Малая терція* $\frac{6}{5}$	Малая секунда $\frac{25}{24}$	Уменьшенная кварта $\frac{32}{25}$	*Кварта* $\frac{4}{3}$	
$B\frac{7}{4}$	Уменьшенная терція $\frac{7}{6}$	Фальшивая кварта $\frac{21}{16}$	Малая секунда $\frac{21}{20}$	Уменьшенная квинта $\frac{7}{5}$	Фальшивая квинта $\frac{35}{24}$	Большая секунда $\frac{35}{32}$

Отсюда получаются единственные возможные въ предѣлахъ одной октавы консонирующіе трехголосные аккорды, т. е. слѣдующіе шесть аккордовъ:

1) $C\ E\ G$ 2) $C\ Es\ G$
3) $C\ F\ A$ 4) $C\ F\ As$
5) $C\ Es\ As$ 6) $C\ E\ A$

Первыя два трезвучія разсматриваются въ теоріи музыки какъ основныя трезвучія изъ коихъ получаются всѣ другія. Мы можемъ ихъ разсматривать состоящими изъ двухъ соединенныхъ между собою терцій, одной большой и одной малой. Аккордъ CEG въ которомъ большая терція лежитъ ниже, а малая выше есть мажорное трезвучіе, отличающееся отъ всѣхъ другихъ мажорныхъ трезвучій тѣмъ, что его тоны наиболѣе между собою сближены; поэтому оно и разсматривается какъ основной аккордъ всѣхъ другихъ мажорныхъ аккордовъ. Напротивъ аккордъ $C\ Es\ G$ въ которомъ малая терція лежитъ ниже, а большая выше составляетъ основной аккордъ всѣхъ минорныхъ трезвучій.

Оба слѣдующіе аккорда $C\ F\ A$ и $C\ F\ As$ называются по ихъ сложенію квартсекстаккордами. Если за ихъ нижайшій тонъ принять не C, а G_1, то они преобразуются въ

$$G_1\ C\ E \text{ и } G_1\ C\ Es.$$

Слѣдовательно можно себѣ ихъ представить происшедшими изъ основнаго мажорнаго или минорнаго трезвучія $C\ E\ G$, или $C\ Es\ G$ тѣмъ, что квинту G перемѣщають па октаву ниже.

Послѣдніе два аккорда $C\ Es\ As$ и $C E A$ называются терцсекстаккордами (Terzsextenaccorde) или просто секстаккордами. Если принять въ первомъ аккордѣ за нижнюю ноту E вмѣсто C, то онъ будетъ $E\ G\ c$, а если принять за басовую ноту втораго аккорда Es вмѣсто C, то онъ будетъ $Es\,G\,c$. Слѣдовательно они могутъ быть разсматриваемы какъ обращенія основнаго мажорнаго и минорнаго трезвучія, коего основной тонъ переложили октавою выше.

И такъ въ этихъ обращеніяхъ, консонирующіе аккорды примутъ слѣдующія формы:

$C\ E\ G$ $C\ Es\ G$
$E\ G\ c$ $Es\ G\ c$
$G\ c\ e$ $G\ c\ es$

При этомъ мы сначала замѣчаемъ, что натуральная септима $B_$, хотя сама по себѣ и дает хорошее звуковое сочетаніе съ основнымъ тономъ C, которое скорѣе лучше чѣмъ хуже малой сексты $C\,As$, но однако же она не вошла ни въ одинъ аккордъ, потому что составляетъ со всѣми остальными консонирующими съ C интервалами худшіе

консонансы, чѣмъ она сама. Составляемые ею лучшіе аккорды суть: $C\ E\ B_$ и $C\,G\,B_$. Въ первомъ изъ нихъ попадается интервалъ $E\,B_$, лежащій между квартою и квинтою; во второмъ, уменьшенная малая терція $G\ B_$. Напротивъ малая секста даетъ съ малою терціею вѣрную кварту, а съ квартою малую терцію, такъ что въ секстаккордѣ и квартсекстаккордѣ она составляетъ наименѣе удовлетворительный интервалъ; поэтому упомянутые аккорды могутъ еще считаться консонирующими. Это и есть причина почему натуральная септима не примѣняется въ гармонической музыкѣ какъ консонансъ, тогда какъ примѣняется малая секста, которая сама по себѣ нисколько ея не благозвучнѣе.

Для теоріи музыки весьма поучителенъ аккордъ $C\,E\,As$, къ которому мы еще возвратимся впослѣдствіи. Мы должны его считать диссонирующимъ, потому что онъ содержитъ уменьшенную кварту $E\ As$, коей численное отношеніе $\frac{32}{25}$. Эта уменьшенная кварта такъ близко подходитъ къ большой терціи $E\ Gis$, что на нашихъ клавишныхъ инструментахъ (органѣ и фортепіано) эти оба интервала совсѣмъ не различаются. Дѣло въ томъ что

$$E\ As = \frac{32}{25} = \frac{5}{4}\cdot\frac{125}{128},$$

или сокращенно:

$$(E\ As) = E.\ Gis)\cdot\frac{42}{43}.$$

Отсюда казалось бы, что этотъ аккордъ, который можно произвольно написать для практическаго исполненія на фортепіано $C\ E\ As$ или $C\ E\ Gis$, долженъ бы былъ быть консонирующимъ, потому что каждый изъ его тоновъ составляетъ съ каждымъ другимъ интервалъ, который на фортепіано разсматривается какъ консонирующій; однако же этотъ аккордъ одинъ изъ грубѣйшихъ диссонансовъ, въ чемъ согласны всѣ музыканты и въ чемъ можно убѣдиться когда угодно. На инструментѣ настроенномъ по вѣрнымъ интерваламъ, интервалъ $E\ As$ оказывается тотчасъ же диссонансомъ. Разсматриваемый аккордъ составляетъ прекрасный примѣръ того, какъ даже и при неточной настройкѣ фортепіано сохраняется первоначальное значеніе интерваловъ и опредѣляется о нихъ сужденіе посредствомъ слуха.

Что же касается благозвучія выше найденныхъ различныхъ обращеній трезвучій, то оно зависитъ отъ того составляютъ ли отдѣльные интервалы совершенные или несовершенные консонансы. Кварта

оказалась менѣе благозвучною, чѣмъ квинта, малыя терціи и сексты, менѣе благозвучными большихъ. Аккордъ:

C E G	въ себѣ содержитъ	квинту, больш. терцію, мал. терцію.
E G C	» » »	кварту, малую терцію, мал. сексту.
G C E	» » »	кварту, больш. терцію, бол. сексту.

C Es G	» » »	квинту, малую терцію, бол. терцію.
Es G C	» » »	кварту, больш. терцію, бол. сексту.
G C Es	» » »	кварту, малую терцію, мал. сексту.

Такъ какъ нарушенія благозвучія при вѣрныхъ интервалахъ несомнѣнно значительнѣе терціями и секстами, чѣмъ квартами, то изъ этого слѣдуетъ, что расположеніе мажорнаго аккорда въ квартсекстаккордѣ благозвучнѣе расположенія въ основномъ аккордѣ и что послѣднее благозвучнѣе расположенія съ секстаккордѣ. Наоборотъ при минорномъ аккордѣ расположеніе съ секстаккордѣ лучше чѣмъ въ основномъ, а это послѣднее лучше чѣмъ въ квартсекстаккордѣ. Этотъ выводъ оказывается также вполнѣ вѣрнымъ въ среднихъ расположеніяхъ скалы, если интервалы дѣйствительно вѣрно настроены; по при такихъ опытахъ надо сопоставлять отдѣльно взятые аккорды, безъ модуляцій. Какъ только дѣлаютъ модуляціонныя соединенія, которыя напр. могутъ проявляться въ видѣ заключительныхъ кадансовъ, чувство къ *тону*, въ главномъ аккордѣ котораго находятъ удовлетвореніе, нарушаетъ наблюденіе. Въ низкихъ расположеніяхъ скалы всѣ терціи менѣе благопріятны для благозвучія чѣмъ сексты.

По роду интерваловъ можно было бы ожидать, что минорный аккордъ *C Es G* звучитъ также хорошо какъ *C E G*, потому что оба аккорда содержатъ въ себѣ квинту, большую и малую терцію. Однако въ дѣйствительности это не такъ. Благозвучіе минорнаго аккорда замѣтно ограниченнѣе мажорнаго, что зависитъ отъ комбинаціонныхъ тоновъ, которые должны быть здѣсь принимаемы во вниманіе. Мы уже видѣли въ ученіи о благозвучіи интерваловъ, что комбинаціонные тоны могутъ воспроизводить дрожанія въ томъ случаѣ, когда сочетаются два интервала, изъ которыхъ каждый самъ по себѣ совершенно не даетъ дрожаній или по крайней мѣрѣ не даетъ явственно слышимыхъ дрожаній.

И такъ, намъ еще слѣдуетъ изучить комбинаціонные тоны мажорныхъ и минорныхъ трезвучій. Мы ограничимся комбинаціонными тонами перваго порядка, которые воспроизводятся основными

тонами и ихъ первыми верхними тонами. Основные тоны звуковъ обозначены половинами, комбинаціонные тоны основныхъ тоновъ четвертями, комбинаціонные тоны основныхъ тоновъ съ первыми верхними тонами восьмыми и шестнадцатыми. Черта возлѣ ноты показываетъ, что послѣдняя должна была бы быть немного ниже, чѣмъ показанный тонъ скалы.

1) Мажорныя трезвучія съ комбинаціонными тонами:

2) Минорныя трезвучія:

При мажорныхъ трезвучіяхъ, комбинаціонные тоны перваго порядка и даже нижайшіе комбинаціонные тоны втораго порядка, которые обозначены восьмыми, даютъ только удвоенія тоновъ аккорда въ низшихъ октавахъ. Высшіе комбинаціонные тоны втораго порядка, обозначенные шестнадцатыми, чрезвычайно слабы, потому что, при одинаковыхъ впрочемъ обстоятельствахъ, сила комбинаціонныхъ тоновъ убываетъ, когда интервалъ возпроизводимыхъ тоновъ возрастаетъ, отчего опять таки зависитъ высокое расположеніе комбинаціонныхъ тоновъ. Я всегда могъ легко разслушиват на гармоніонѣ, помощью трубокъ-резонаторовъ, нижайшіе комбинаціонные тоны втораго порядка обозначенные восьмыми, но не могъ разслышать обозначенныхъ шестнадцатыми. Я ихъ изобразилъ для полноты теоріи; конечно не было бы невозможно то, чтобы они сдѣлались слышимыми при весьма сильныхъ звукахъ, сопровождаемыхъ весьма сильными верхними тонами; но вообще мы можемъ ими пренебречь.

Наоборотъ, при минорныхъ аккордахъ, легко слышимые комбинаціонные тоны перваго порядка производятъ уже нарушенія. Хотя они еще не такъ близко лежатъ другъ къ другу, чтобы давать дрожанія, но они внѣ гармоніи. При основномъ аккордѣ и секстаккордѣ, комбинаціонные тоны, обозначенные четвертями

составляютъ мажорное трезвучіе въ *As*; при квартсекстаккордѣ присоединяются даже два новыхъ тона, именно *As* и *B*, которые чужды первоначальному трезвучію. Напротивъ, комбинаціонные тоны втораго порядка, которые обозначены восьмыми, приближаются частью другъ къ другу, частью же къ начальнымъ тонамъ аккорда и къ комбинаціоннымъ тонамъ перваго порядка такъ близко, что должны образоваться дрожанія, тогда какъ въ мажорныхъ аккордахъ, эти тоны вполнѣ входятъ въ аккордъ. Такимъ образомъ для тоническаго минорнаго трезвучія *c' es' g'* мы находимъ въ нашемъ примѣрѣ диссонансы *as b c'*, составленные комбинаціонными тонами; тѣже диссонансы встрѣчаются при секстаккордѣ *es' g' c''*. При квартсекстаккордѣ *g'—c''—es''* мы находимъ диссонансы *b—c'* и *g'—as'*. Конечно эти нарушенія въ благозвучіи минорныхъ трезвучій комбинаціонными тонами втораго порядка слишкомъ слабы, чтобы придать названнымъ аккордамъ характеръ диссонансовъ; однако же они воспроизводятъ замѣтное увеличеніе грубости въ сравненіи съ мажорными аккордами на вѣрно, т. е. по математическимъ интерваламъ, настроенныхъ инструментовъ. При обыкновенной темпераціонной настройкѣ нашихъ клавишныхъ инструментовъ, эта грубость комбинаціонныхъ тоновъ дѣлается относительно мало замѣтною при значительно большей грубости, производимой невѣрными консонансами. Вліяніе болѣе сильныхъ низкихъ комбинаціонныхъ тоновъ перваго порядка, мнѣ кажется практически гораздо болѣе существеннымъ, потому что хотя грубость звуковаго сочетанія не увеличивается, но присоединяются къ аккорду чуждые тоны, которые при минорныхъ аккордахъ *C* принадлежатъ мажорнымъ трезвучіямъ *As* и *Es*; поэтому то въ минорный аккордъ входитъ нѣчто чуждое, что не вполнѣ достаточно явственно для того, чтобы совершенно нарушить аккорды, но однако достаточно для того, чтобы придать благозвучію и музыкальному значенію этого аккорда нѣчто мрачное и неясное, необъяснимое для слушателя, потому что слабые комбинаціонные тоны, которые этому причиною, покрываются другими сильнѣйшими тонами и замѣтны только привычному уху; поэтому то минорные аккорды такъ и способны выражать неопредѣленныя, грустныя или угрюмыя настроенія. *) Фишеръ весьма хорошо развилъ въ своей эстетикѣ (часть III, § 772) этотъ характеръ минорнаго *тона*, а

*) Извѣстно, что названія *Dur* и *Moll* ничего не имѣютъ общаго съ твердымъ или мягкимъ характеромъ музыкальныхъ произведеній написанныхъ въ этихъ *тонахъ*, но относятся только къ угловатой или круглой формѣ знаковъ ♯ для нашего тона *h* и ♭ для нашего тона *b*; въ этомъ отношеніи извѣстно *B durum* и *molle* средневѣковаго нотописанія.

именно показалъ насколько онъ пригоденъ для выраженія различныхъ степеней радости и грусти въ то время, какъ общій характеръ выражаемыхъ имъ настроеній заключается въ нѣчто мрачномъ и неопредѣленномъ.

Всякая малая терція и всякая секста, сопровождаемая комбинаціоннымъ тономъ, превращается сама собою въ мажорный аккордъ. У малой терціи *e'—g'*, комбинаціонный тонъ *C*; у большой сексты *g—e'*, комбинаціонный тонъ *c*; у малой сексты *e'—c''*, комбинаціонный тонъ *g*. Слѣдовательно всѣми этими двухзвучіями, мажорныя трезвучія уже подготовлены натурально и какъ только мы прибавимъ къ одному изъ нихъ третій тонъ, который не подходитъ къ подготовленному уже мажорному трезвучію, то натурально, что нарушеніе станетъ чувствительнымъ.

Новѣйшіе теоретики большею частью противились допустить то, что минорный аккордъ менѣе созвученъ мажорнаго. Они исключительно дѣлали свои опыты на инструментахъ темпераціонной настройки, въ которыхъ эта разница дѣйствительно можетъ остаться скорѣе сомнительною. Наоборотъ, при вѣрно настроенныхъ интервалахъ и оттѣнкахъ умѣренной рѣзкости, разница весьма поразительна и не можетъ быть отрицаема *); въ самомъ дѣлѣ у средневѣковыхъ композиторовъ, которые почти исключительно сочиняли для пѣнія и которые поэтому не были принуждены нарушать консонансы, это чувство было чрезвычайно развито. Я полагаю, что въ этомъ заключалась главная причина избѣганія минорныхъ аккордовъ при заключеніи музыкальныхъ сочиненій. У сочинителей среднихъ вѣковъ, включая и Себастіана Баха, въ заключеніи вообще находятся только мажорные аккорды, или же аккорды безъ терціи; даже у Генделя и Моцарта часто встрѣчаютъ мажорный аккордъ какъ заключеніе минорнаго предложенія. Конечно, что кромѣ степени созвучія, въ заключительномъ аккордѣ принимаются во вниманіе еще и другія условія, въ особенности же явственное обозначеніе господствующей тоники, которыя даютъ рѣшительное преимущество мажорному аккорду. Это будетъ подробнѣе разсмотрѣно въ главѣ XV.

Опредѣливъ и сравнивъ консонирующія трезвучія не переходящія предѣловъ октавы, мы обращаемся къ тѣмъ, которыя заключаютъ большіе интервалы. Мы уже нашли прежде, какъ правило, что если одинъ изъ тоновъ перенести по желанію на одну или на двѣ октавы выше или ниже, то консонирующіе интервалы остаются консонирующими, хотя степень ихъ благозвучія отъ такого обращенія не-

*) Производство такихъ наблюденій касательно различія настроекъ и объ инструментѣ съ вѣрною настройкою, смотри ниже въ главѣ XV.

*

много и мѣняется. Отсюда слѣдуетъ, что и во всѣхъ до сихъ поръ приведенныхъ нами консонирующихъ аккордахъ, каждый отдѣльный тонъ можетъ быть произвольно переносимъ выше или ниже на цѣлыя октавы. Если три интервала трезвучія были консонирующими до обращенія, то они будутъ консонирующими и послѣ обращенія. Мы уже видѣли, что такимъ путемъ изъ основнаго аккорда могли быть получены секстаккордъ и квартсекстаккордъ. Кромѣ того отсюда слѣдуетъ, что и въ болѣе широкихъ интервалахъ не можетъ существовать другихъ консонирующихъ трезвучій, какъ полученныхъ отъ обращенія мажорныхъ и минорныхъ потому, что если бы подобные аккорды существовали, то можно было бы сдѣлать такое обращеніе ихъ тоновъ, чтобы они лежали въ предѣлахъ октавы и этимъ получили бы въ ея предѣлахъ новый консонирующій аккордъ; но таковой существовать не можетъ, потому что нашимъ способомъ нахожденія трехголосныхъ консонирующихъ аккордовъ мы должны были бы найдти только тѣ, которые вообще могутъ существовать въ предѣлахъ октавы. Тѣмъ не менѣе слабо диссонирующіе аккорды, которые лежатъ въ предѣлахъ октавы, могутъ отъ обращенія ихъ тоновъ сдѣлаться менѣе грубыми. Такъ напр. аккордъ $1 : \frac{7}{6} : \frac{7}{4}$ или *C*, *Es*—, *B*— диссонируетъ слабо отъ присутствія интервала $1 : \frac{7}{6}$; интервалъ $1 : \frac{7}{4}$, или натуральная септима, звучитъ не хуже малой сексты; интервалъ $\frac{7}{6} : \frac{7}{4}$ вѣрная квинта. Если теперь тонъ *Es* — перенести на октаву выше, т. е. въ *es*—, такъ что аккордъ будетъ

$$1 : \frac{7}{4} : \frac{7}{3},$$

то интервалъ $1 : \frac{7}{3}$ гораздо мягче, чѣмъ $1 : \frac{7}{6}$; онъ звучитъ даже лучше малой децимы $1 : \frac{12}{5}$ нашей минорной гаммы и составленный такимъ образомъ аккордъ, который я воспроизводилъ на вѣрно настроенномъ гармоніонѣ, хотя и звучитъ вслѣдствіе непривычныхъ интерваловъ нѣсколько странно, но не грубѣе худшаго изъ минорнымъ аккордовъ, а именно минорнаго квартсекстаккорда. Такимъ образомъ аккордъ *C*, *B*—, *es*—также значительно нарушается не подходящими комбинаціонными тонами G_1 и *F*. Натурально, что не стоитъ благопріятствовать такого рода отдѣльному аккорду, потому что онъ относится только къ нашимъ худшимъ консонирующимъ аккордамъ и не можетъ быть обращаемъ въ обыкновенной гаммѣ, такъ какъ заключающіеся въ немъ тоны чужды этой послѣдней.

При обращеніи консонирующихъ трезвучій въ болѣе широкіе интервалы, ихъ благозвучіе прежде всего мѣняется отъ измѣненія интерваловъ. Большія децимы, какъ мы это уже нашли въ предъидущей главѣ, благозвучнѣе большихъ терцій; малыя децимы менѣе благозвучны малыхъ терцій, терцдецимъ или секстъ, удвоенныхъ на

октаву и обыкновенныхъ секстъ, именно малыхъ. Для того чтобы замѣтить эти факты предлагается слѣдующее правило: всѣ тѣ интервалы, въ численномъ отношеніи которыхъ меньшее число четное, улучшаются при ихъ расширеніи на октаву, потому что съ расширеніемъ интервала, численное отношеніе становится проще:

квинта	2 : 3	переходя въ	дуодециму	даетъ	2 : 6 = 1 : 3
терція.	4 : 5	»	» децима	»	4 : 10 = 2 : 5
уменьш. терція	6 : 7	»	» уменьш. дециму . . .		3 : 7.

Напротивъ, тѣ интервалы у которыхъ меньшее число нечетное, при расширеніи на октаву ухудшаются, какъ то: кварта 3 : 4, малая терція 5 : 6, сексты 3 : 5 и 5 : 8.

Но кромѣ этого имѣютъ еще существенное вліяніе главные комбинаціонные тоны воспроизводимыхъ интерваловъ. Я здѣсь даю еще разъ сопоставленіе первыхъ комбинаціонныхъ тоновъ тѣхъ консонирующихъ интерваловъ, которые лежатъ въ предѣлахъ двухъ октавъ. Начальные тоны обозначены опять таки половинами, а комбинаціонные тоны четвертями.

Знакъ × означаетъ здѣсь повышеніе немного меньшее полутона; тоны *b* и *es* натуральныя септимы *c* и *f*. Подъ нотами обозначены численныя отношенія, относящихся къ нимъ интерваловъ; разность обоихъ чиселъ даетъ численное отношеніе соотвѣтствующаго комбинаціоннаго тона.

Сначала мы находимъ, что комбинаціонные тоны октавы, квинты, дуодецимы, кварты и большой терціи суть только удвоенія на октаву одного изъ начальныхъ тоновъ, т. е. при этомъ къ аккорду

во всякомъ случаѣ не прибавляютъ новаго тона. Слѣдовательно названные пять интерваловъ могутъ быть употребляемы во всѣхъ родахъ консонирующихъ аккордовъ, при чемъ не произойдетъ никакого нарушенія ихъ комбинаціонными тонами. Слѣдовательно въ этомъ отношеніи, большая терція дѣйствительно имѣетъ преимущество при составленіи аккордовъ предъ большею секстою и децимою, хотя оба послѣдніе интервала превосходятъ ее въ благозвучіи.

Удвоенная октава вноситъ, какъ комбинаціонный тонъ, квинту. Слѣдовательно, если основной тонъ аккорда удваивается на удвоенную октаву, то этимъ аккордъ не нарушается; но если бы была удвоена въ удвоенной октавѣ терція или квинта аккорда, то дѣйствительно произошло бы нарушеніе.

Затѣмъ мы находимъ рядъ интерваловъ, которые дополняются своимъ комбинаціоннымъ тономъ до мажорнаго аккорда и поэтому не производятъ въ немъ нарушенія, но нарушаютъ минорные аккорды. Эти интервалы суть: ундецима, малая терція, большая терція, большая децима, большая секста и малая секста.

Наоборотъ малыя децимы и обѣ терцдецимы не входятъ ни въ одинъ изъ консонирующихъ аккордовъ безъ того, чтобы не произвести своими комбинаціонными тонами нарушенія.

Примѣнимъ сначала эти разсужденія къ построенію трехголосныхъ аккордовъ.

1 Трехголосные мажорные аккорды.

Мажорные аккорды могутъ быть расположены такъ, что комбинаціонные тоны останутся вполнѣ въ предѣлахъ аккорда. Это даетъ намъ вполнѣ благозвучныя расположенія аккорда. Для того чтобы ихъ найдти, слѣдуетъ замѣтить, что въ нихъ не должны попадаться малыя децимы и терцдецимы и что слѣдовательно малыя терціи и всѣ сексты должны быть въ тѣсномъ расположеніи. Если въ верхній голосъ сперва поставить терцію, потомъ квинту и затѣмъ основной тонъ, то находятъ слѣдующія ненарушаемые комбинаціонными тонами расположенія этихъ аккордовъ, которыя не переходятъ предѣловъ двухъ октавъ и которыя здѣсь слѣдуютъ ниже при обозначеніи комбинаціонныхъ тоновъ четвертями.

Совершеннѣйшія расположенія трехголосныхъ мажорныхъ аккордовъ.

Если терція находится вверху, то квинта не должна отъ нея лежать ниже чѣмъ на большую сексту, потому что иначе мы бы получили терцдециму; положеніе же основнаго тона мѣняться можетъ. Поэтому при терціи въ верхнемъ голосѣ существуютъ только два расположенія 1 и 2, которыя ненарушимы. Когда въ верхнемъ голосѣ квинта, то терція должна лежать непосредственно подъ нею, иначе мы получимъ малую дециму; положеніе основнаго тона мѣняться можетъ. Наконецъ, если основной тонъ лежитъ вверху, то терція можетъ подъ нимъ лежать только на интервалѣ малой сексты; квинта свободна. Отсюда слѣдуетъ, что нѣтъ другихъ расположеній мажорнаго аккорда свободныхъ отъ всѣхъ нарушающихъ комбинаціонныхъ тоновъ кромѣ показанныхъ здѣсь и между которыми мы снова находимъ упомянутыя уже выше тѣсныя расположенія 2, 4 и 6 и три новыхъ широкихъ расположенія, именно 1, 3 и 5. Два изъ этихъ новыхъ расположеній 1 и 3 имѣютъ основной тонъ въ басу какъ въ основномъ аккордѣ и разсматриваются какъ болѣе широкія расположенія; одно изъ нихъ, именно 5 имѣетъ квинту внизу, именно какъ 2, т. е. квартсекстаккордъ. Напротивъ секстаккордъ не имѣетъ широкаго расположенія.

По благозвучію интерваловъ послѣдовательность этихъ аккордовъ приблизительно такая же, какъ данная выше. Три интервала, составляющіе первый аккордъ, именно: квинта, большая децима и большая секста, суть наилучшіе; а интервалы послѣдняго, именно: кварта, малая терція и малая секста суть относительно самые неблагопріятные изъ всѣхъ здѣсь встрѣчающихся интерваловъ.

Хотя остальныя расположенія трехголосныхъ мажорныхъ аккордовъ даютъ отдѣльные неблагопріятные комбинаціонные тоны, и на вѣрно настроенныхъ инструментахъ звучатъ замѣтно грубѣе, чѣмъ до сихъ поръ разсмотрѣнные, но отъ этого они все же не становятся диссонирующими, а только входятъ въ одну и туже категорію съ минорными аккордами. Всѣ эти расположенія, заключающіяся въ предѣлахъ двухъ октавъ, получатъ въ томъ случаѣ, когда будутъ дѣлать запрещенныя до сихъ поръ обращенія. Эти обращенія составляютъ продолженіе ряда 1 до 6.

Несовершеннѣйшія расположенія трехголосныхъ мажорныхъ аккордовъ.

Музыканты тотчасъ же увидятъ, что это рѣже всего употребляемыя расположенія мажорнаго аккорда; расположенія отъ 7-го до 10-го получаютъ отъ ихъ комбинаціоннаго тона *b* нѣкоторое сходство съ доминатсептаккордомъ *тона F—Dur c—e—g—b*; менѣе всего пріятны оба послѣднія расположенія, 11 и 12, которыя дѣйствительно звучатъ замѣтно грубѣе лучшихъ минорныхъ аккордовъ.

2. Трехголосные минорные аккорды.

Минорные аккорды никогда не могутъ быть совершенно свободны отъ фальшивыхъ комбинаціонныхъ тоновъ, потому что ихъ терцію отнюдь нельзя поставить въ такое положеніе къ основному тону, въ которомъ она не воспроизвела бы неподходящій къ минорному аккорду комбинаціонный тонъ. Если этотъ послѣдній долженъ быть единственнымъ, то оба тона *Es* и *G* аккорда *C-Moll*, должны сохранять свое тѣснѣйшее расположеніе въ видѣ большой терціи, такъ какъ при всякомъ другомъ расположеніи они бы воспроизвели второй неподходящій къ аккорду комбинаціонный тонъ. Однако при тонахъ *C* и *G* слѣдуетъ избѣгать интервала ундецимы, при которомъ они бы составили мажорный аккордъ. При этихъ условіяхъ возможны только три расположенія минорнаго аккорда, а именно слѣдующія:

Остальныя расположенія, звучащія хуже, суть слѣдующія:

Расположенія отъ 4-го до 10-го заключаютъ два неподходящихъ комбинаціонныхъ тона, изъ коихъ одинъ воспроизводится тонами *C* и *Es*, а другой 4 происходитъ отъ ундецимы *G—C*, а въ остальныхъ отъ обращенной большой терціи *Es—G*. Оба послѣднія расположенія 11 и 12 звучатъ хуже всѣхъ другихъ, потому что они имѣютъ по три фальшивыхъ комбинаціонныхъ тона.

Вліяніе комбинаціонныхъ тоновъ замѣчается также и при сравненіи различныхъ расположеній. Такъ напр. расположеніе 3-е съ малою децимою и большою терціею звучитъ положительно лучше 7-го расположенія съ большою децимою и большою секстою, хотя оба послѣдніе интервала, взятые отдѣльно, звучатъ лучше двухъ первыхъ. Слѣдовательно худшій звукъ 7-го аккорда происходитъ единственно отъ неподходящаго втораго комбинаціоннаго тона.

Вліяніе неподходящихъ комбинаціонныхъ тоновъ высказывается также при сравненіи съ мажорными аккордами. Если сравнить минорные аккорды отъ 1-го до 3-го, изъ коихъ каждый заключаетъ въ себѣ только по одному неподходящему комбинаціонному тону, съ мажорными аккордами 11 и 12, имѣющими каждый по два комбинаціонныхъ тона, то упомянутые минорные аккорды звучатъ дѣйствительно пріятнѣе и менѣе грубо названныхъ мажорныхъ аккордовъ. Слѣдовательно и при этихъ обоихъ классахъ аккордовъ благозвучіе опредѣляется ни большою или малою терціею, ни ладомъ (Tongeschlecht), а комбинаціонными тонами.

Четырехголосные аккорды.

Не трудно понять, что всѣ консонирующіе четырехголосные аккорды составляются изъ трехголосныхъ мажорныхъ или минорныхъ аккордовъ, у коихъ одинъ изъ тоновъ удвоенъ на октаву, потому что каждый консонирующій четырехголосный аккордъ долженъ превратиться въ консонирующій трехголосный каждый разъ, какъ мы отъ него отнимемъ одинъ изъ его тоновъ. Мы можемъ это дѣлать различными способами, отнимая послѣдовательно различные тоны четырехголоснаго аккорда. Напр. изъ четырехголоснаго аккорда *C—E—G—c* можно составить слѣдующіе трехголосные:

C — E — G	*E — G — c*
C — E — c	*C — G — c*

Но всѣ происшедшіе такимъ образомъ трехголосные консонирующіе аккорды, если не заключаютъ въ себѣ удвоенныхъ нотъ, должны быть мажорными или минорными аккордами, потому что другихъ консонирующихъ трехголосныхъ аккордовъ не существуетъ; но если мы желаемъ къ мажорному или минорному трезвучію прибавить опять четвертый тонъ, такъ чтобы онъ превратился въ четырехголосный консонирующій аккордъ, то это можетъ только произойдти посред-

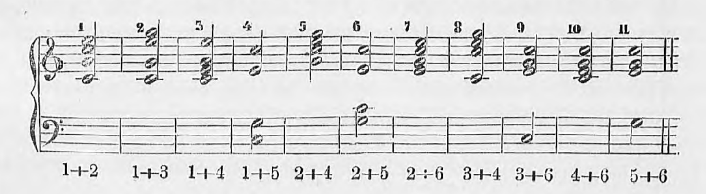
ствомъ удвоенія одного изъ его трехъ тоновъ, потому что каждый подобный аккордъ въ себѣ содержитъ два тона, которые мы назовемъ *C* и *G*, и которые находятся другъ къ другу въ отношеніи простой или обращенной квинты. Единственные же тоны, которые могутъ быть сочетаемы съ тонами *C* и *G* въ консонирующіе аккорды, суть *E* и *Es*; другихъ не существуетъ. Такъ какъ *E* и *Es* не могутъ попадаться вмѣстѣ въ одномъ консонирующемъ аккордѣ, то каждый консонирующій четырехголосный или многоголосный аккордъ, заключающій въ себѣ *C* и *G*, можетъ заключать въ себѣ или еще *E* и удвоенія этихъ трехъ тоновъ, или же вмѣсто *E* тонъ *Es* съ подобными же удвоеніями.

Слѣдовательно всѣ трехголосные и многоголосные консонирующіе аккорды мажорны или минорны и могутъ быть получены изъ обоихъ основныхъ аккордовъ мажорнаго или минорнаго *тона* обращеніемъ или удвоеніемъ въ октаву ихъ трехъ тоновъ.

Для того чтобы найдти вполнѣ хорошо звучащія расположенія четырехголосныхъ аккордовъ, намъ слѣдуетъ опять таки обратить вниманіе на то, чтобы въ нихъ не входили малыя децимы и терцдецимы. Слѣдовательно квинта не должна восходить отъ терціи аккорда болѣе чѣмъ на малую терцію и нисходить не болѣе какъ на сексту, основной же тонъ восходитъ не болѣе какъ на сексту. Если эти правила выполнены, то одновременно выполняется и то что терція и квинта не должны удваиваться на удвоенную октаву. Эти правила могутъ быть короче выражены такъ: самые благозвучные мажорные аккорды суть тѣ, въ которыхъ основной тонъ восходитъ а квинта восходитъ и нисходитъ отъ терціи не болѣе какъ на сексту. Напротивъ основной тонъ не можетъ нисходить по произволу.

Принадлежащія сюда расположенія мажорныхъ аккордовъ находятъ въ томъ случаѣ, когда изъ совершеннѣйшихъ расположеній трехголосныхъ аккордовъ слагаютъ такіе два, которыя имѣютъ два общихъ тона. Они слѣдуютъ ниже.

Совершеннѣйшія расположенія четырехголосныхъ мажорныхъ аккордовъ въ предѣлахъ двухъ октавъ.



Цифры подъ нотами относятся къ обозначеннымъ наверху расположеніямъ трехголосныхъ мажорныхъ аккордовъ.

Не трудно видѣть, что секстаккорды должны лежать совершенно тѣсно, какъ въ № 7; что квартсекстаккорды не должны переходить предѣловъ ундецимы, но встрѣчаются во всѣхъ трехъ расположеніяхъ (5, 6 и 11), которыя возможны въ предѣлахъ ундецимы. Аккорды, имѣющіе основной тонъ въ басу самые самостоятельные.

Здѣсь нѣтъ надобности приводить менѣе благозвучныя расположенія мажорныхъ аккордовъ. Число плохихъ комбинаціонныхъ тоновъ не можетъ превзойдти двухъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ расположеніи 11-мъ трехголоснаго аккорда. Въ трехголосномъ аккордѣ *C—Dur* вообще содержатся только два фальшивыхъ комбинаціонныхъ тона *b* и *f* ×.

Четырехголосные минорные аккорды, какъ и соотвѣтствующіе трехголосные, должны натурально всегда имѣть по крайней мѣрѣ одинъ фальшивый комбинаціонный тонъ. Въ четырехголосномъ минорномъ аккордѣ существуетъ только одно расположеніе, которое имѣетъ не болѣе одного комбинаціоннаго тона, именно обозначенное въ слѣдующемъ нотномъ примѣрѣ 1-ю и которое составлено 1-мъ и вторымъ расположеніями трехголоснаго минорнаго аккорда. Число фальшивыхъ комбинаціонныхъ тоновъ можетъ возрастать до 4-хъ, если напр. соединить 10-е и 11-е расположенія трехголосныхъ аккордовъ.

Я прилагаю здѣсь обзоръ четырехголосныхъ минорныхъ аккордовъ, которые не имѣютъ болѣе двухъ фальшивыхъ комбинаціонныхъ тоновъ и остаются въ предѣлахъ двухъ октавъ. Только фальшивые комбинаціонные тоны обозначены четвертями; тѣ же, которые не нарушаютъ аккорда, отброшены.

Лучшія расположенія четырехголосныхъ минорныхъ аккордовъ.

Квартсекстаккордъ попадается только въ самомъ тѣсномъ расположеніи № 5; секстаккордъ въ трехъ расположеніяхъ (9, 3 и 6), именно во всѣхъ тѣхъ, которыя не переходятъ предѣловъ децимы;

основной аккордъ входитъ три раза съ удвоенною октавою (1, 2, 4) и два раза съ удвоенною квинтою (7 и 8).

Въ существовавшей до сихъ поръ теоріи музыки было весьма мало сказано о вліяніи обращеній аккордовъ на ихъ благозвучіе. Обыкновенно даютъ правило не употреблять въ басу тѣсныхъ интерваловъ, а распредѣлять ихъ по возможности довольно равномѣрно въ промежуткѣ между наружными тонами; эти правила не являются въ видѣ слѣдствій обыкновенно даваемыхъ теоретическихъ взглядовъ и законовъ, по которымъ консонирующій интервалъ остается равномѣрно созвучнымъ въ какой бы онъ части скалы не лежалъ и какъ бы онъ не былъ обращаемъ или сочтаемъ, но скорѣе въ видѣ практическихъ исключеній изъ общихъ правилъ. Пріобрѣтеніе спаровкою и опытомъ воззрѣнія о различномъ впечатлѣніи различныхъ обращенныхъ аккордовъ, оставалось предоставленнымъ музыкантамъ. Въ этомъ отношеніи они не съумѣли дать никакого правила.

Я настолько здѣсь развилъ занимающій насъ предметъ, чтобы показать, что вѣрнымъ взглядомъ на причину консонанса и диссонанса мы можемъ найдти также правила о явленіяхъ, которыхъ существовавшее до сихъ поръ ученіе о гармоніи не могло облечь въ правила. Что же касается того, что сдѣланныя нами здѣсь предположенія согласуются съ сочиненіями лучшихъ композиторовъ, въ особенности же тѣхъ, которые главнымъ образомъ прошли свое музыкальное образованіе на вокальной музыкѣ, пока большее развитіе музыки инструментальной не принудило еще къ всеобщему введенію темпераціонной настройки, въ этомъ легко убѣдиться при разсмотрѣніи такихъ сочиненій, которыя производятъ впечатлѣніе совершеннѣйшаго благозвучія. Между всѣми композиторами, Моцартъ, конечно тотъ, который имѣлъ самый вѣрный инстинктъ для утонченной музыкальной техники. Среди его вокальныхъ сочиненій особенно замѣчателенъ по своему удивительному вѣрному и нѣжному благозвучію *Ave verum corpus*. Если мы просмотримъ это небольшое произведеніе, какъ одинъ изъ самыхъ подходящихъ для нашей цѣли примѣровъ, то найдемъ въ его первомъ колѣнѣ, которое звучитъ необыкновенно нѣжно и пріятно, мажорные аккорды перемѣшанные съ септаккордами. Всѣ эти мажорные аккорды относятся къ тѣмъ, которые нами обозначены какъ вполнѣ благозвучные аккорды. Чаще всего встрѣчается расположеніе 2, затѣмъ 8, 10, 1 и 9. Два минорныхъ и одинъ мажорный аккордъ попадаются въ неблагопріятномъ расположеніи только въ заключительной модуляціи этого перваго колѣна. Весьма поразительно то, что при сравненіи этого колѣна со вторымъ, въ которомъ выраженіе болѣе мрачно, страстно, и мистично и въ которомъ модуляція пробивается чрезъ болѣе смѣлые переходы и болѣе рѣз-

кіе диссонансы, въ послѣднемъ попадается гораздо болѣе минорныхъ аккордовъ, которые, равно какъ и находящіеся здѣсь разбросанными мажорные аккорды, находятся преимущественно въ неблагопріятныхъ расположеніяхъ до заключительнаго аккорда, гдѣ полное благозвучіе является снова.

Совершенно подобныя же наблюденія можно сдѣлать надъ хоровыми сочиненіями Палестрины, его современниковъ и послѣдователей до тѣхъ поръ, пока они имѣютъ простое гармоническое построеніе безъ сложной полифоніи. Во время преобразованія римской церковной музыки, сдѣланнаго Палестриною, главнымъ считалось выраженіе благозвучія въ противоположность грубой и трудно понимаемой полифоніи прежней Нидерландской школы, и дѣйствительно Палестрина и его школа рѣшили эту задачу самымъ совершеннымъ образомъ. Здѣсь также находятъ почти непрерывную послѣдовательность консонирующихъ аккордовъ съ рѣдко вставленными септимами и диссонирующими проходящими нотами. Здѣсь консонирующіе аккорды состоятъ также вполнѣ или почти исключительно изъ тѣхъ мажорныхъ или минорныхъ аккордовъ, которые мы обозначили благозвучнѣйшими. Напротивъ менѣе благопріятныя расположенія минорныхъ и мажорныхъ аккордовъ, перемѣшанныя съ сильнѣйшими и многочисленнѣйшими диссонансами, находятся преимущественно только въ заключительныхъ кадансахъ отдѣльныхъ колѣнъ, такъ что то выраженіе въ гармоніи, котораго современная музыка достигаетъ разнородными диссонирующими аккордами, а именно частымъ введеніемъ септаккорда, въ школѣ Палестрины достигается гораздо болѣе утонченными оттѣнками различныхъ обращеній аккордовъ консонирующихъ. Этимъ объясняется благозвучіе этихъ сочиненій, связанное съ глубокимъ и нѣжнымъ выраженіемъ, какъ бы осуществляющимъ пѣніе ангеловъ, тронутыхъ земными страданіями, но не смущающихся ими въ своей небесной чистотѣ. Натурально, что такія сочиненія требуютъ какъ отъ пѣвца, такъ и отъ слушателя болѣе утонченнаго слуха для того, чтобы вполнѣ оцѣнить нѣжныя измѣненія выраженія, потому что вслѣдствіе вліянія современной музыки мы привыкли къ сильнѣйшимъ и внезапно на насъ дѣйствующимъ средствамъ выраженія.

Изъ четырехголосныхъ мажорныхъ аккордовъ я находилъ въ *Stabat mater* Палестрины преимущественно расположенія: 1, 10, 8, 5, 3, 2, 4, 9, а изъ минорныхъ аккордовъ расположенія: 9, 2, 4, 8, 3, 5, 1. Что касается мажорныхъ аккордовъ, то можно было бы еще полагать, что онъ руководился какимъ либо теоретическимъ правиломъ для того, чтобы избѣгать плохихъ интерваловъ малой децимы или терцдецимы; однако подобное правило было бы для минорныхъ аккордовъ

совершенно не примѣнимо. Такъ какъ въ то время еще ничего не знали о комбинаціонныхъ тонахъ, то мы должны заключить, что онъ былъ руководимъ только чувствительностью своего слуха, которая давала ему указанія совершенно согласующіяся съ выведенными нами теоретически правилами.

Упомянутые мною авторитеты могутъ служить для музыкантовъ подтвержденіемъ вѣрности моей классификаціи консонирующихъ аккордовъ по ихъ благозвучію. Впрочемъ въ этой правильности можно также убѣдиться въ любое время на каждомъ инструментѣ настроенномъ по вѣрнымъ интерваламъ. При употребляемой теперь обыкновенно настройкѣ въ темпераціонныхъ интервалахъ, болѣе утонченныя различія конечно немного сглаживаются, но однако же они окончательно не исчезаютъ.

Окончивъ этимъ ту часть нашихъ изслѣдованій, которая основывается чисто на естественно-научныхъ началахъ, необходимо сдѣлать общій обзоръ всего нами сказаннаго, чтобы отдать себѣ отчетъ о томъ, что мы пріобрѣли новаго и какое отношеніе имѣютъ наши выводы къ взглядамъ древнихъ теоретиковъ. Мы начали съ акустическихъ явленій верхнихъ тоновъ, комбинаціонныхъ тоновъ и дрожаній. Эти явленія были давно извѣстны какъ музыкантамъ такъ и акустикамъ; точно также и законы, по которымъ они воспроизводятся, были въ существенныхъ чертахъ вѣрно распознаны и положены. Для насъ было только необходимо прослѣдить эти явленія далѣе въ отдѣльности, чѣмъ это было сдѣлано до сихъ поръ. Намъ удалось найдти способы для наблюденія верхнихъ тоновъ, которые дѣлаютъ это до сихъ поръ столь затруднительное наблюденіе, относительно легкимъ; помощью этихъ способовъ мы старались показать, что звуки всѣхъ музыкальныхъ инструментовъ, за немногими исключеніями, сопровождаются верхними тонами, что тѣ именно оттѣнки, которые особенно благопріятны для музыкальныхъ цѣлей, имѣютъ по крайней мѣрѣ рядъ низкихъ верхнихъ тоновъ довольно значительной силы, тогда какъ простые тоны, какъ напр. закрытыхъ органныхъ трубъ, производятъ весьма мало удовлетворяющее музыкальное дѣйствіе, хотя и къ нимъ, по крайней мѣрѣ если онѣ звучатъ нѣсколько сильно, присоединяются въ самомъ ухѣ слабые верхніе гармоническіе тоны. Напротивъ мы нашли, что при лучшихъ музыкальныхъ оттѣнкахъ, высокіе частные тоны, начиная примѣрно съ седьмаго, должны быть слабы, потому что иначе оттѣнокъ и именно всякаго звуковаго сочетанія становится слишкомъ рѣзкимъ. Относительно дрожаній, нашею задачею было именно доказать производимое ими дѣйствіе, когда

они становятся все быстрѣе и быстрѣе. Мы нашли что они тогда переходятъ въ грубость свойственную диссонансу; этотъ переходъ можетъ быть произведенъ совершенно постепенно и наблюдаемъ во всѣхъ его видоизмѣненіяхъ, при чемъ даже самому чувственному наблюденію легко и ясно обнаруживается, что сущность диссонанса основывается именно только на весьма быстрыхъ дрожаніяхъ. Эти дрожанія отражаются въ нервахъ слуха грубо и непріятно, потому что всякое прерывное возбужденіе нашихъ нервныхъ аппаратовъ раздражаетъ ихъ сильнѣе, чѣмъ равномѣрно продолжающееся раздраженіе. Быть можетъ, что къ этому присоединяется еще одна психологическая причина, такъ какъ вслѣдствіе отдѣльныхъ звуковыхъ толчковъ диссонирующаго звуковаго сочетанія мы дѣйствительно получаемъ впечатлѣніе отдѣленныхъ другъ отъ друга звуковыхъ толчковъ, какъ происходящее отъ медленныхъ дрожаній, но мы однако не можемъ ихъ распознать въ отдѣльности, ни сосчитать ихъ; поэтому они составляютъ смѣшанную массу тоновъ, которую мы не можемъ явственно разложить на ея отдѣльные элементы. Мы полагаемъ что причину непріятнаго впечатлѣнія диссонанса составляетъ грубость и смѣшеніе его тоновъ. Мы можемъ выразить вкратцѣ смыслъ этой разницы вотъ какъ: консонансъ есть непрерывное, а диссонансъ,—прерывное слуховое ощущеніе. Два консонирущіе тона звучатъ другъ возлѣ друга не нарушаясь; диссонирующіе тоны разлагаются на рядъ отдѣльныхъ звуковыхъ толчковъ. Это данное нами описаніе предмета вполнѣ соотвѣтствуетъ древнему опредѣленію Эвклида: «консонансъ есть сліяніе двухъ тоновъ одного высокаго и одного низкаго; наоборотъ диссонансъ есть неспособность двухъ тоновъ между собою сливаться, вслѣдствіе чего они и становятся для слуха грубыми». *)

Разъ какъ это правило было уже найдено, ничего болѣе не оставалось дѣлать, какъ изслѣдовать въ какихъ случаяхъ и съ какою силою должны воспроизводиться дрожанія при различныхъ возможныхъ звуковыхъ сочетаніяхъ, частью отъ частныхъ тоновъ, частью же отъ комбинаціонныхъ тоновъ различнаго порядка. Это изслѣдованіе было до сихъ поръ сдѣлано, собственно говоря, только для комбинаціонныхъ тоновъ двухъ простыхъ тоновъ—Шейблеромъ; извѣстные законы дрожаній давали возможность сдѣлать это изслѣдованіе безъ затрудненій и для сложныхъ звуковъ. Всякій теоретическій выводъ по этому предмету можетъ быть ежеминутно провѣренъ вѣрно сдѣланнымъ наблюденіемъ, именно если облегчить себѣ

*) **Euclides** ed. **Meibomius** p. 8: Εστι δὲ συμφωνία μὲν κρᾶσις δὺο φϑόγγων, ὀξυτέρου καὶ βαρυτέρου. Διαφωνία δὲ τοὐναντίον δύο φϑόγγων ἀμιξία, μὴ οἵων τε κραϑῆναι, ἀλλὰ τραχυνϑῆναι τὴν ακοὴν.

анализъ звуковой массы примѣненіемъ резонаторовъ. Всѣ эти дрожанія верхнихъ и комбинаціонныхъ тоновъ, о которыхъ мы такъ много говорили въ предъидущихъ главахъ, не суть выдумки пустыхъ теоретическихъ умозрѣній, а скорѣе факты, полученные наблюденіемъ, которые дѣйствительно могутъ быть восприняты безъ затрудненія при правильномъ производствѣ опыта всякимъ привычнымъ наблюдателемъ. Знаніе акустическаго закона облегчаетъ намъ возможность находить скорѣе и вѣрнѣе явленія, о которыхъ здѣсь идетъ рѣчь. Но всѣ доказательства, на которыя мы ссылались для того чтобы изложить ученіе о консонансахъ и диссонансахъ такъ, какъ оно дано въ послѣднихъ главахъ, основаны единственно на тщательномъ анализѣ слуховыхъ ощущеній; конечно этотъ анализъ могъ бы быть сдѣланъ всякимъ привычнымъ ухомъ безъ помощи теоріи, однако же указанія этой послѣдней и средства наблюденія употребляемыя сообразно цѣли его чрезвычайно облегчили.

Я прошу именно читателя также замѣтить, что гипотеза о сокотебаніи Кортіевыхъ волоконъ не имѣетъ никакого непосредственнаго отношенія къ объясненію консонанса и диссонанса. Послѣднее основывается единственно на фактахъ наблюденія, т. е. на дрожаніяхъ частныхъ и комбинаціонныхъ тоновъ. Однако я полагаю, что упомянутую гипотезу, которую мы натурально не имѣемъ права не считать за таковую, не слѣдуетъ оставлять безъ вниманія, потому что она соединяетъ всѣ различныя акустическія явленія, съ которыми мы имѣемъ дѣло, въ одно общее цѣлое и даетъ для всѣхъ нихъ ясно понимаемое и наглядное объясненіе.

Послѣднія главы показали, что анализъ звуковой массы, произведенный вѣрно и добросовѣстно ведетъ при примѣненіи упомянутыхъ принциповъ совершенно къ тѣмъ же различеніямъ консонирующихъ и диссонирующихъ интерваловъ и аккордовъ, какія положены существующимъ до сихъ поръ музыкальнымъ ученіемъ о гармоніи. Мы даже показали, что наши изслѣдованія даютъ еще болѣе спеціальныя свѣдѣнія объ отдѣльныхъ интервалахъ и формахъ аккорда, чѣмъ тѣ, которыя были въ состояніи дать общія правила до сихъ поръ существующаго ученія о гармоніи; наблюденіе на вѣрно настроенныхъ инструментахъ, равно какъ и примѣръ лучшихъ композиторовъ подтвердили въ этомъ отношеніи наши выводы.

Вмѣстѣ съ тѣмъ я не сомнѣваюсь, что въ изслѣдованіяхъ, о которыхъ идетъ рѣчь, представлена истинная и достаточная причина консонирующаго и диссонирующаго соотношенія музыкальныхъ звуковъ, основанная на болѣе точномъ анализѣ ощущенія тоновъ и на чисто естественно-научныхъ, а не на эстетическихъ началахъ.

Одно, быть можетъ, обстоятельство могло бы заставить задуматься музыкантовъ. Мы нашли, что отъ совершеннѣйшихъ консонансовъ до явныхъ диссонансовъ существуетъ непрерывный рядъ ступеней звуковыхъ сочетаній, которыя дѣлаются все грубѣе и грубѣе, такъ что поэтому не могло бы существовать рѣзкаго разграниченія между консонансами и диссонансами и граница между ними кажется довольно произвольною. Напротивъ музыканты дѣлаютъ довольно рѣзкое разграниченіе между консонансами и диссонансами и не допускаютъ между ними ничего промежуточнаго, что Гауптманнъ (Hauptmann) и представляетъ главнымъ препятствіемъ вывода теоріи консонанса изъ раціональныхъ численныхъ отношеній. *)

Дѣйствительно мы уже замѣтили выше, что звуковыя сочетанія натуральной септимы 4 : 7 и уменьшенной децимы 3 : 7 звучатъ во многихъ оттѣнкахъ почти что также хорошо какъ малая секста 5 : 8 и что послѣдній интервалъ 3 : 7 звучитъ по большой части даже лучше, чѣмъ довольно несовершенный консонансъ малой децимы 5 : 12. Однако мы уже привели одно весьма важное обстоятельство для музыкальной практики, вслѣдствіе котораго малая секста имѣетъ преимущество передъ интервалами, составленными съ числомъ 7. Дѣло въ томъ, что малая секста даетъ при обращеніи лучшій интервалъ, т. е. большую терцію, и въ новѣйшей музыкальной системѣ она имѣетъ значеніе консонанса преимущественно вслѣдствіе этого отношенія къ большой терціи; она существенно необходима и только принята потому, что она обращеніе большой терціи. Напротивъ интервалы, составленные числомъ 7, даютъ своими обращеніями худшіе самихъ себя интервалы. Слѣдовательно потребность гармоніи, имѣть возможность по произволу обращать голоса, даетъ уже поводъ къ обозначенію предѣла между малою секстою съ одной стороны и интервалами опредѣляемыми числомъ 7 съ другой. Впрочемъ, какъ я полагаю, на это разграниченіе имѣло рѣшительное вліяніе только построеніе гаммы, о которомъ мы поговоримъ подробнѣе въ слѣдующемъ отдѣлѣ. Современная гамма не допускаетъ въ свои предѣлы тоновъ опредѣляемыхъ числомъ 7; въ музыкальной же гармоніи рѣчь можетъ быть только о звуковыхъ сочетаніяхъ тоновъ гаммы. Интервалы характеризуемые числомъ 5, именно терціи и сексты содержатся въ гаммѣ; кромѣ того въ ней попадаются такіе, которые характеризованы числомъ 9, какъ напр. большая секунда 8 : 9; однако между первыми и вторыми отсутствуютъ характеризованные числомъ 7, которые должны были бы составить переходъ между названными интервалами. Слѣдовательно въ ряду расположенныхъ по своему

*) Harmonik und Metrik, S. 4.

благозвучію звуковыхъ сочетаній существуетъ дѣйствительный промежутокъ, который опредѣляетъ границу между консонансами и диссонансами.

Слѣдовательно основанія, которыя здѣсь даютъ рѣшенія, не лежатъ собственно въ природѣ интерваловъ, а въ построеніи всей системы тоновъ. Это подтверждается въ особенности тѣмъ историческимъ фактомъ, что на дѣлѣ граница между консонирующими и диссонирующими интервалами не всегда была одна и таже. Уже было упомянуто выше, что Греки постоянно принимали терціи за диссонансы и если опредѣленная рядомъ послѣдовательныхъ квинтъ (Quintencyclen) пиѳагорова терція 64:81 не была консонансомъ, то впослѣдствіи они все таки имѣли, по описаніямъ Дидима и Птоломея, въ ихъ такъ называемомъ синтоническо-діатоническомъ ладѣ, натуральную большую терцію 4:5, которую они однако не признавали консонансомъ. Уже было упомянуто выше, какъ въ средніе вѣка сначала признали за несовершенные консонансы терціи, а потомъ сексты; какъ терціи долго совершенно исключали изъ заключительныхъ аккордовъ и какъ впослѣдствіи допустили сперва большую и наконецъ малую терцію. Если новѣйшіе музыкальные теоретики полагаютъ, что въ этомъ только странность и противоестественность, или же думаютъ, что прежніе композиторы подчинялись слѣпо авторитету Грековъ, то это неправильно; послѣднее мнѣніе встрѣчалось въ самомъ дѣлѣ у писателей теоріи музыки до XVI столѣтія; но мы должны дѣлать различіе между композиторами и музыкальными теоретиками. Ни Греки ни великіе композиторы XVI и XVII столѣтій не были такими людьми, которые бы подчинились такой теоріи, которая бы противорѣчила ихъ слуху. Основаніе этихъ уклоненій лежитъ скорѣе въ разницѣ системъ *тоновъ* древняго и новаго времени, съ которыми мы ознакомимся въ слѣдующей главѣ ближе. Тамъ окажется, что наша современная система получила въ сущности свой настоящій видъ отъ общепринятаго примѣненія гармоническихъ звуковыхъ сочетаній. Только въ этой системѣ было достигнуто полнѣйшее удовлетвореніе всѣмъ требованіямъ гармоническаго построенія (Harmoniegewebe) и при замкнутой послѣдовательности этой системы, мы не только можемъ себѣ позволить нѣкоторыя вольности въ употребленіи болѣе несовершенныхъ консонансовъ и диссонансовъ, которыхъ должны были избѣгать прежнія системы, но послѣдовательность современной системы зачастую требуетъ, именно въ заключительныхъ кадансахъ, присутствія запрещенныхъ прежде терцій для вѣрнаго различенія мажорнаго и минорнаго *тона*.

Такъ какъ предѣлъ между консонансами и диссонансами дѣйствительно измѣнился съ измѣненіемъ системы тоновъ, то этимъ также

доказано, что основаніе, опредѣляющее гдѣ должна быть проведена эта граница, должно искать не въ интервалахъ и ихъ благозвучіи, а въ цѣломъ построеніи системы тоновъ.

Рѣшеніе задачи, предложенной за 2500 лѣтъ Пиѳагоромъ изслѣдованію причинъ явленій, касательно связи консонансовъ съ отношеніями малыхъ цѣлыхъ чиселъ, разрѣшается теперь тѣмъ, что ухо, на основаніи законовъ соколебанія, разлагаетъ сложные звуки на маятникообразныя колебанія; но это происходитъ, будучи выражено математически, по закону положенному Фурье (Fourier), который насъ научаетъ, что каждая произвольнаго рода періодически измѣняющаяся величина выражается суммою простѣйшихъ періодическихъ величинъ. *) Длины періодовъ просто періодическихъ членовъ этой суммы должны быть въ точности такъ велики, чтобы одинъ, два, три, четыре, и т. д. ихъ періода были бы равны періоду данной величины, что, будучи примѣнено къ тонамъ, выражаетъ, что число колебаній верхнихъ тоновъ должно быть соотвѣтственно въ два, три, четыре и т. д. раза больше чиселъ колебаній основнаго тона. Это и суть цѣлыя числа, опредѣляющія отношеніе консонансовъ Затѣмъ, какъ мы уже видѣли, консонансъ обусловливается тѣмъ, что двое изъ низшихъ частныхъ тоновъ звучащихъ вмѣстѣ нотъ находятся на одинаковой высотѣ; въ противномъ случаѣ существуютъ нарушающія дрожанія. Слѣдовательно основаніе найденныхъ Пиѳагоромъ раціональныхъ отношеній слѣдуетъ искать окончательно въ положеніи Фурье и разсматривать его въ нѣкоторомъ смыслѣ какъ основаніе генералъ-баса.

Отношенія цѣлыхъ чиселъ къ консонансамъ было основаніемъ для сумасбродныхъ и фантастическихъ выводовъ въ древности и въ средніе вѣка, въ особенности же у восточныхъ народовъ. «Все число и гармонія» было характеристическимъ главнымъ положеніемъ пиѳагорова ученія. Тѣже отношенія, которыя существовали между семью тонами діатонической гаммы, полагали найдти и между разстояніями небесныхъ тѣлъ отъ центральнаго огня. Отсюда гармонія сферъ, которую слышалъ будто одинъ только Пиѳагоръ, какъ предполагали его ученики. Комбинаціи Китайцевъ дошли въ древнѣйшія времена приблизительно до такихъ же фантазій. Въ книгѣ Тцо-Кіу-Минга (Tso-kiu-ming), друга Конфуція (за 500 л. до Р. Х.), 5 тоновъ древнѣйшей китайской скалы сравниваются съ 5-ю элементами китайской натуральной философіи (водою, огнемъ, деревомъ, металломъ и землею). Цѣлыя числа 1, 2, 3 и 4 описываются какъ источникъ всякаго совершенства. Впослѣдствіи установили соотношеніе между

*) Именно Sinus'овъ и Cosinus'овъ мѣняющихся величины.

12-ю полутонами октавы и 12-ю мѣсяцами года и т. д. Подобныя отношенія тоновъ къ элементамъ, климатамъ, созвѣздіямъ находятся также въ большомъ числѣ и у арабскихъ писателей о музыкѣ. Въ продолженіе всего періода среднихъ вѣковъ гармонія сферъ играла весьма важную роль; по Афанасію Кирхеру (Athanasius Kircher) музыка была нетолько въ макрокозмѣ, но и въ микрокозмѣ и даже человѣкъ глубоко научнаго направленія, каковъ былъ Кепплеръ (Keppler) не могъ совершенно освободиться отъ подобнаго рода воззрѣній; въ настоящее время этимъ также наслаждаются нѣкоторые философскіе умы, которымъ болѣе удобно фантазировать, чѣмъ заниматься научною работою.

Знаменитый математикъ Эйлеръ *) (L. Euler) старался основать отношенія консонансовъ къ цѣлымъ числамъ болѣе положительнымъ и научнымъ образомъ на психологическихъ данныхъ и представленное имъ воззрѣніе можетъ разсматриваться какъ то, которое повидимому наиболѣе подходитъ къ взглядамъ ученыхъ прошлаго столѣтія, хотя оно быть можетъ и не оказалось достаточнымъ. Эйлеръ **) начинаетъ изложеніемъ того, что намъ пріятно все то, въ чемъ мы открываемъ нѣкоторое совершенство; но совершенство предмета опредѣляется тѣмъ, что въ немъ все способствуетъ къ достиженію его конечной цѣли. Отсюда слѣдуетъ, что гдѣ находится совершенство, тамъ долженъ быть и порядокъ, потому что порядокъ заключается въ томъ, что всѣ части распредѣлены по нѣкоторому правилу изъ котораго можно было бы узнать, почему каждая изъ частей помѣщена на томъ мѣстѣ гдѣ она находится, а не на другомъ; но въ предметѣ, гдѣ существуетъ совершенство, такого рода правило должно было бы быть опредѣлено, сообразно его главному назначенію, распредѣленіемъ всѣхъ составляющихъ его элементовъ; поэтому порядокъ намъ нравится болѣе безпорядка. Однако мы могли бы воспринимать порядокъ двоякимъ образомъ, или зная законъ, изъ котораго выведено правило распредѣленія элементовъ, мы сравнимъ слѣдствія этого закона съ воспринятымъ распредѣленіемъ, или же, если мы передъ этимъ не знаемъ упомянутаго закона и стараемся его открыть изъ имѣющагося распредѣленія частей. Послѣдній случай именно тотъ, съ которымъ мы имѣемъ дѣло въ музыкѣ. Сочетаніе тоновъ намъ понравится, если мы будемъ въ состояніи находить законы ихъ расположенія. При этомъ могло бы случиться, что одинъ слушатель съумѣлъ бы найдти этотъ законъ, а другой нѣтъ и поэтому оба судили бы различно.

---

*) Tentamen novae theoriae Musicae, Petropoli; 1739.
**) l. c. Cap. II, § 7.

Чѣмъ легче мы воспринимаемъ порядокъ, который находится въ данномъ предметѣ, тѣмъ мы находимъ его проще и совершеннѣе, и признаемъ его скорѣе и охотнѣе; но тотъ порядокъ, восприятіе котораго требуетъ нѣкотораго усилія, доставитъ намъ нѣкоторое наслажденіе, смѣшанное съ чувствомъ усилія и изнеможенія (tristicia).

Въ тонахъ есть два элемента, въ которыхъ можетъ проявиться порядокъ, именно высота тона и его длительность. Порядокъ высоты тоновъ обнаруживается въ интервалахъ, а длительность ритмомъ. Правда, что могъ бы быть еще возможенъ порядокъ силы тона, но для нея недостаетъ намъ мѣры. Подобно тому какъ въ ритмѣ могутъ попадать двѣ, три или четыре одинаковыя ноты одного голоса на одну, двѣ или три ноты другаго голоса, при чемъ мы легко замѣчаемъ правильность такого распредѣленія, въ особенности если оно часто повторяется, и подобно тому какъ такой порядокъ насъ удовлетворяетъ, точно также намъ было бы пріятнѣе, если бы мы замѣтили, что два, три или четыре колебанія одного тона приходятся на одно, два или три колебанія другаго, чѣмъ тогда, когда отношеніе временъ колебаній представлялось бы ирраціонально или только большими числами. Отсюда слѣдуетъ, что звуковое сочетаніе двухъ тоновъ намъ тѣмъ пріятнѣе, чѣмъ отношеніе колебаній можетъ быть выражено меньшими цѣлыми числами. Эйлеръ замѣчаетъ также, что при болѣе высокихъ тонахъ мы можемъ легче переносить болѣе сложныя отношенія чиселъ колебаній, т. е. самые несовершенные консонансы, чѣмъ при низкихъ, потому что при высокихъ тонахъ группы одинаковыхъ колебаній повторяются чаще въ одно и тоже время, чѣмъ при низшихъ и поэтому мы можемъ также распознать легче правильность даже болѣе сложнаго распредѣленія.

Затѣмъ Эйлеръ развиваетъ ариѳметическое правило, по которому степень благозвучія интервала или аккорда можетъ быть вычислена изъ отношеній колебаній, характеризующихъ интервалы. Однозвучіе принадлежитъ къ первой ступени, октава ко второй, дуодецима и удвоенная октава къ третьей, квинта къ четвертой, кварта къ пятой, большая децима и ундецима къ шестой, большая секста и большая терція къ седьмой, малая секста и малая терція къ восьмой, натуральная септима 4 : 7 къ девятой и т. д. Въ послѣдней ступени заключается также мажорное трезвучіе и его обращеніе въ квартсекстаккордъ. Напротивъ секстаккордъ мажорнаго трезвучія находится въ слѣдующей десятой ступени. Минорное трезвучіе съ своимъ секстаккордомъ находится также въ девятой ступени, а его квартсекстаккордъ въ десятой. Въ этомъ распредѣленіи выводы системы Эйлера согласуются довольно удовлетворительно съ нашими; только въ положеніи мажорныхъ

аккордовъ къ минорнымъ въ его системѣ недостаетъ вліянія комбинаціонныхъ тоновъ; во вниманіе былъ принятъ только родъ интерваловъ; поэтому оба основные аккорда кажутся здѣсь одинаково благозвучными, хотя съ другой стороны секстаккордъ мажорнаго *тона* и квартсекстаккордъ минорнаго, находятся какъ и у насъ въ послѣднихъ ступеняхъ. *)

Эйлеръ примѣнилъ эти изслѣдованія не только къ отдѣльнымъ консонансамъ и аккордамъ, но также къ послѣдовательностямъ ихъ, къ построенію гаммъ и модуляціямъ, при чемъ множество частностей выходятъ вполнѣ поразительно вѣрно; не взирая на то, что система Эйлера не даетъ объясненія тому факту, отчего не совсѣмъ вѣрно настроенный консонансъ звучитъ приблизительно также хорошо какъ вѣрно настроенный и лучше болѣе разстроеннаго, тогда какъ численныя отношенія вообще всего болѣе усложняются для слабо разстроеннаго консонанса, все же главное затрудненіе воззрѣнія Эйлера заключается въ томъ, что совершенно ничего не говорится о томъ, какимъ образомъ человѣческая душа можетъ воспринимать численныя отношенія двухъ звучащихъ вмѣстѣ тоновъ. Мы должны полагать, что человѣкъ первобытнаго состоянія едва ли себѣ уясняетъ, что происхожденіе тона основывается на колебаніяхъ; далѣе, что числа колебаній различны; что при высокихъ тонахъ они больше, чѣмъ при низкихъ и что при опредѣленныхъ интервалахъ они имѣютъ опредѣленное отношеніе; для этого у непосредствен-

*) Я желаю здѣсь дать основаніе, по которому Эйлеръ опредѣляетъ числа ступеней интерваловъ и аккордовъ, потому что оно дѣйствительно хорошо оправдывается своими слѣдствіями пока не принимаются во вниманіе комбинаціонные тоны. Если p начальное число, то Эйлеръ обозначаетъ число его ступени p. Всѣ другія числа суть произведенія начальныхъ чиселъ. Число ступени произведенія двухъ множителей a и b, коихъ числа ступеней суть α и β, равно $\alpha+\beta-1$. Если дѣло въ томъ, чтобы найдти число ступени аккорда, который, будучи выраженъ въ наименьшихъ числахъ, можетъ быть положенъ равнымъ $p:q:r:s$ и т. д., то Эйлеръ ищетъ наименьшее число, которое бы въ себѣ заключало множителями какъ p, такъ и q, r, s и т. д. и коего число ступени есть также число ступени аккорда. Слѣдовательно напр. число ступени.

$2 = 2$
$3 = 3$
$4 = 2.2$, т. е. $2+2-1=3$
$12 = 4.3$ » $3+3-1=5$
$60 = 12.5$ » $5+5-1=9$

Число ступени мажорнаго аккорда $4:5:6$ равно числу ступени 60, такъ какъ 60 дѣлится на цѣло на 4, на 5 и на 6.

наго чувственнаго восприятія не имѣется вспомогательнаго средства. Дѣйствительно встрѣчается множество такихъ чувственныхъ восприятій, при которыхъ мы сами себѣ не можемъ отдать отчета какъ мы достигаемъ распознаванія соотвѣтствующаго предмета, напр. когда мы дѣлаемъ заключеніе по резонансу полости о ея величинѣ и формѣ, или по чертамъ лица о характерѣ человѣка, но въ этихъ случаяхъ мы пріобрѣли касательно разсматриваемыхъ отношеній продолжительный навыкъ и выводимъ изъ нихъ сужденіе посредствомъ аналогическихъ заключеній, не будучи однако въ состояніи отдать себѣ ясно отчета объ отдѣльныхъ фактахъ, на которыхъ основывается наше сужденіе. Съ числами же колебаній дѣло совсѣмъ другое. Кто не дѣлаетъ физическихъ опытовъ, не имѣетъ случая узнать во всю жизнь что нибудь о числахъ колебаній и ихъ отношеніяхъ и однако въ этомъ положеніи находится большинство людей любящихъ музыку.

Слѣдовательно во всякомъ случаѣ оставалось еще указать средства, коими отношенія чиселъ колебаній дѣлаются воспринимаемыми въ чувственномъ ощущеніи. Я старался опредѣлить эти средства и слѣдовательно результаты настоящаго изслѣдованія дополняютъ въ извѣстномъ смыслѣ то, чего недоставало въ изслѣдованіи Эйлера. Но изъ физіологическихъ данныхъ, дѣлающихъ чувствительными разницу между консонансомъ и диссонансомъ, или по Эйлеру между отношеніями тоновъ по порядку и не по порядку, выходитъ въ окончательномъ выводѣ существенная разница между нашимъ способомъ объясненія и Эйлеровымъ. По Эйлеру душа должна воспринимать раціональныя отношенія колебаній тоновъ какъ таковые; по нашему, она воспринимаетъ только физическое дѣйствіе этихъ отношеній, т. е. прерывное или непрерывное ощущеніе слуховыхъ нервовъ. Физикъ конечно знаетъ, что ощущеніе консонанса непрерывно, потому что отношенія чиселъ колебаній раціональны; однако музыкальная пьеса не заставляетъ этого сознавать не посвященнаго въ физику слушателя и даже для свѣдущаго физика, аккордъ не становится благозвучнѣе, вслѣдствіе его лучшаго пониманія предмета. Въ порядкѣ ритма происходитъ совершенно другое. Каждый при нѣкоторомъ вниманіи и безъ особой подготовки замѣчаетъ, что цѣлая нота равна двумъ половинамъ, тремъ тріолямъ или же четыремъ четвертямъ. Напротивъ отношеніе по порядку колебаній двухъ звучащихъ вмѣстѣ тоновъ, хотя и производитъ на ухо особое дѣйствіе, которымъ оно отличается отъ всѣхъ отношеній не по порядку, но это различіе консонанса отъ диссонанса основывается на физическихъ, а не на психологическихъ данныхъ.

Къ нашей теоріи о причинѣ происхожденія консонанса ближе

подходятъ воззрѣнія Рамо и д'Аламберта (d'Alembert) *) съ одной стороны и Тартини **) съ другой. Послѣдній основывалъ свою теорію на существованіи комбинаціонныхъ тоновъ, а оба первые на существованіи верхнихъ тоновъ. Не трудно видѣть что они нашли вѣрныя исходныя точки, но акустическія знанія прошлаго столѣтія были еще недостаточны для того, чтобы изъ нихъ возможно было бы извлечь удовлетворительные выводы. По словамъ д'Аламберта, книга Тартини была написана такъ темно и неопредѣленно, что онъ равно какъ и другіе ученые нашли невозможнымъ составить себѣ о ней сужденіе. Напротивъ книга д'Аламберта чрезвычайно ясна и образцова въ изложеніи, какъ это можно было только ожидать отъ столь тонкаго и точнаго ума, какъ д'Аламберта, котораго въ тоже время слѣдуетъ отнести къ величайшимъ физикамъ и математикамъ своего времени. Рамо и д'Аламбертъ принимаютъ за исходныя точки два факта, которые они разсматриваютъ какъ основанія ихъ системы. Первый фактъ заключается въ томъ, что у всякаго звучащаго тѣла слышать съ основнымъ тономъ (générateur) также дуодециму и ближайшую высшую терцію какъ верхніе тоны (harmoniques). Второй фактъ заключается въ томъ, что всякій замѣчаетъ то сходство, которое имѣется между каждымъ тономъ и его октавою. Первымъ фактомъ доказывается то, что мажорный аккордъ наиболѣе натураленъ изъ всѣхъ аккордовъ, а вторымъ то, что можно понижать квинту и терцію на одну и на двѣ октавы, не измѣняя сущности аккорда; этимъ путемъ можно получать мажорное трезвучіе въ различныхъ обращеніяхъ. Минорный аккордъ образуется тогда, когда находятъ три тона, имѣющіе одинъ и тотже верхній тонъ, именно квинту аккорда; дѣйствительно *C*, *Es* и *G* имѣютъ верхнимъ общимъ тономъ *g'*; поэтому хотя минорный аккордъ и не такъ совершенъ и натураленъ какъ мажорный, но однако онъ также получается путемъ естественнымъ.

Въ срединѣ прошлаго столѣтія, когда начинали сильно страдать отъ искусственнаго общественнаго порядка, было достаточно представить вещь натуральною, чтобы этимъ доказать, что она прекрасна; мы не желаемъ отрицать, что при большой оконченности и цѣлесообразности всѣхъ органическихъ строеній человѣческаго тѣла, доказательство подобнаго рода отношеній данныхъ природою, какія нашелъ Рамо между тонами мажорнаго аккорда, заслуживаетъ полнаго вниманія, по крайней мѣрѣ какъ исходная точка для дальнѣйшаго из-

*) Eléments de Musique suivant les principes de *M. Rameau* par *M. d'Alembert* Lyon 1762.

**) Traité de l'Harmonie 1754.

слѣдованія. Въ самомъ дѣлѣ, какъ мы можемъ это видѣть теперь, Рамо предположилъ вполнѣ правильно, что, исходя изъ этого факта, можно основать ученіе о гармоніи; но этимъ конечно дѣло не было окончено, потому что въ природѣ существуетъ прекрасное и безобразное, полезное и вредное. Слѣдовательно простое доказательство того, что нѣчто натурально, еще недостаточно для того, чтобы оно имѣло эстетическое значеніе. Кромѣ того при удареніи прутьевъ колоколовъ, перепонокъ, при вдуваніи въ полости, Рамо могъ бы слышать еще множество другихъ диссонирующихъ аккордовъ, отличныхъ отъ струнныхъ и получаемыхъ отъ остальныхъ музыкальныхъ инструментовъ. Такого рода аккорды слѣдовало бы вѣдь также считать натуральными.

Во вторыхъ подобіе октавы съ своимъ основнымъ тономъ, на которомъ основывается Рамо, составляетъ музыкальное явленіе, которое точно также нуждается въ доказательствѣ, какъ и явленіе консонанса.

Впрочемъ недостатки этой системы никто не понялъ лучше какъ самъ д'Аламбертъ; поэтому въ предисловіи своей книги онъ весьма положительно себя ограждаетъ отъ выраженія употребленнаго Рамо «доказательство принципа гармоніи». Онъ объясняетъ, что съ своей стороны онъ ничего болѣе не желалъ какъ дать связное и послѣдовательное изложеніе всѣхъ законовъ ученія о гармоніи, связывая его съ однимъ основнымъ фактомъ, именно съ существованіемъ верхнихъ тоновъ, которые онъ беретъ за данные, безъ дальнѣйшаго изслѣдованія о ихъ происхожденіи. Такимъ образомъ онъ и ограничивается доказательствомъ «натуральности» мажорнаго и минорнаго трезвучій. О дрожаніяхъ въ его сочиненіи нѣтъ и рѣчи, а поэтому ничего не говорится объ истинномъ различіи между консонансомъ и диссонансомъ. О законахъ дрожаній въ то время знали весьма мало; комбинаціонные тоны сдѣлались только извѣстными французскимъ ученымъ Ромьё (Romieu—1753) и Тартини (1754). Въ Германіи они были открыты нѣсколькими годами ранѣе Сонгомъ (1745), но это открытіе было распространено весьма мало. Слѣдовательно недоставало фактическихъ основъ, по которымъ только и можетъ быть построена полная теорія.

Тѣмъ не менѣе эта попытка Рамо и д'Аламберта имѣетъ большое историческое значеніе въ томъ отношеніи, что теорія консонанса была этимъ впервые перенесена съ метафизической на естественно-научную почву. Можно удивляться тому, что сдѣлали оба ученые тѣмъ скуднымъ матеріяломъ, который у нихъ былъ подъ рукою и какою ясною, точною и наглядно выработанною системою сдѣлалась въ ихъ рукахъ теорія музыки, бывшая до нихъ столь разрозненною

и трудною для изученія. Намъ предстоитъ впослѣдствіи еще изложить, какіе важные успѣхи сдѣлалъ Рамо собственно въ музыкальной части ученія о гармоніи.

И такъ, если я самъ былъ въ состояніи дать нѣчто болѣе полное, то я обязанъ этимъ только тому, что я могъ воспользоваться значительнымъ числомъ трудовъ, сдѣланныхъ до меня по физикѣ въ теченіи прошлаго столѣтія.

ОТДѢЛЪ ТРЕТІЙ.

СРОДСТВО ЗВУКОВЪ.

ГАММЫ И ТОНАЛЬНОСТЬ.

ГЛАВА XIII.

Обзоръ различныхъ принциповъ музыкальнаго стиля въ развитіи музыки.

До сихъ поръ наше изслѣдованіе имѣло чисто естественно-научный характеръ. Мы анализизировали слуховыя ощущенія и изслѣдовали физическія и физіологическія основанія найденныхъ явленій, т. е. верхнихъ тоновъ, комбинаціонныхъ тоновъ и дрожаній. Во всемъ этомъ изслѣдованіи мы имѣли дѣло только съ явленіями природы которыя должны одинаковымъ образомъ проявляться чисто механически и безъ произвола у всѣхъ живыхъ существъ, коихъ ухо, по анатомическому строенію, схоже съ нашимъ. Въ такомъ изслѣдованіи, гдѣ преобладаютъ механическія условія и отстраненъ всякій произволъ, можно также требовать и отъ науки, чтобы она опредѣлила неизмѣнные законы явленій и постоянно указывала бы на строгую связь между дѣйствіемъ и причиною. Подобно тому, какъ въ явленіяхъ, изслѣдуемыхъ теоріею не заключается ничего произвольнаго, долженъ быть отстраненъ всякій произволъ и въ законахъ, которыми выражаются эти явленія и въ объясненіяхъ, которыя мы имъ даемъ окончательно; пока что либо подобное имѣло бы еще въ наукѣ мѣсто, она имѣла бы задачею, и въ большей части случаевъ также средства отстранить это послѣдующими изслѣдованіями.

Обращаясь въ этомъ третьемъ отдѣлѣ нашихъ изслѣдованій главнымъ образомъ къ музыкѣ и желая перейти къ разбору элементарныхъ правилъ музыкальной композиціи, мы переходимъ на другую почву, которая уже теряетъ чисто естественно-научный характеръ; тѣмъ не менѣе пріобрѣтенное нами свѣдѣніе о сущности слуха встрѣтитъ еще далѣе неоднократное примѣненіе. Мы приходимъ здѣсь къ задачѣ, которая по своей сущности относится къ области эстетики. Если мы до этого говорили въ ученіи о консонансахъ о пріятномъ и непріятномъ, то дѣло шло только о непосредственномъ чувственномъ впечатлѣніи изолированнаго звуковаго сочетанія на ухо, не обращая никакого вниманія на противуположности и средства выраженія ис-

кусства; при этомъ мы заботились только о чувственномъ впечатлѣніи, а не объ эстетической красотѣ. Оба условія слѣдуетъ строго разграничить между собою, хотя первое и составляетъ важное средство для удовлетворенія требованій послѣдняго.

Измѣненіе самой сущности предмета нашихъ послѣдующихъ изслѣдованій дѣлается замѣтнымъ уже по совершенно внѣшнему признаку, именно тѣмъ, что мы почти что при каждомъ изъ нихъ ежеминутно сталкиваемся съ историческими и національными различіями вкуса. На сколько одно звуковое сочетаніе болѣе или менѣе грубо въ сравненіи съ другимъ, зависитъ только отъ анатомическаго строенія уха, а не отъ психологическихъ причинъ. Но степень грубости, которую можетъ перенести слушатель, какъ средство музыкальнаго выраженія, зависитъ отъ вкуса и привычки; поэтому граница между консонансами и диссонансами подвергалась многоразличнымъ измѣненіямъ. Гаммы, *тоны* и ихъ модуляціи подверглись точно также многостороннимъ измѣненіямъ не только у необразованныхъ и дикихъ народовъ, но даже и въ тѣ періоды всемірной исторіи, когда проявлялись лучшіе плоды умственнаго развитія извѣстнаго народа.

Отсюда слѣдуетъ выводъ, значеніе котораго еще и по нынѣ не достаточно усвоено нашими музыкальными теоретиками и историками, а именно, что система гаммъ, *тоновъ* и ихъ гармоническое построеніе основываются не только на неизмѣнныхъ законахъ природы, но являются отчасти также результатомъ эстетическихъ принциповъ, которые подвержены измѣненію въ связи съ постепеннымъ развитіемъ человѣчества, которому подлежатъ и въ будущемъ.

Отсюда еще не слѣдуетъ, что выборъ выше названныхъ элементовъ музыкальной техники совершенно произвольный, и что они не допускали бы вывода изъ болѣе общаго закона. Напротивъ того, правила всякаго художественнаго стиля представляютъ собою стройную систему, если только этотъ стиль достигъ вообще богатаго и окончательнаго развитія. Система подобныхъ правилъ искусства хотя и не развивается художниками сознательно и въ извѣстной послѣдовательности, но создается скорѣе рядомъ опытовъ и игрою фантазіи въ то время, когда они обдумываютъ и разработываютъ свои художественныя произведенія и постепенно доходятъ путемъ опыта до рода и образа имъ наиболѣе нравящагося. Но наука можетъ однако стараться отыскать причины, будь онѣ психологическія или техническаго рода, которыми руководствовались художники въ своихъ твореніяхъ. Психологическія причины должны быть отнесены при этомъ къ научной эстетикѣ, а техническія въ область естественныхъ наукъ. Если цѣль, которой слѣдуютъ художники, придерживаясь извѣстнаго стиля,

опредѣлена вѣрно, равно какъ и главное направленіе избраннаго имъ при этомъ пути, то возможно болѣе или менѣе опредѣлить, почему они были принуждены слѣдовать тому или другому правилу, или примѣнить то или другое техническое средство. Для доказательства необходимости техническихъ правилъ для каждаго отдѣльнаго направленія въ развитіи нашего искусства открывается широкое и богатое поле научнаго изслѣдованія, въ особенности въ музыкальной наукѣ, въ которой играетъ важную роль особаго рода физіологическія отправленія уха, скрытыя отъ непосредственнаго самонаблюденія. Характеристика главной задачи, преслѣдуемой каждою школою искусства, равно какъ и основнаго принципа ея художественнаго стиля, конечно не можетъ служить предметомъ естественной науки, но она должна быть ей дана на основаніи результатовъ историческихъ и эстетическихъ изслѣдованій.

Сравненіе музыки съ архитектурою, которая точно также слѣдуетъ по существенно различнымъ другъ отъ друга направленіямъ, будетъ содѣйствовать разъясненію этого вопроса. Греки подражали въ своихъ каменныхъ храмахъ первобытнымъ деревяннымъ постройкамъ; это служило основнымъ принципомъ ихъ архитектурнаго стиля. Это подражаніе деревяннымъ постройкамъ, еще ясно проявляется въ общемъ характерѣ строенія и въ расположеніи орнаментовъ. Вертикальное положеніе поддерживающихъ колоннъ и горизонтальное направленіе покрытія, заставляли также располагать всѣ второстепенныя части строенія преимущественно по вертикальнымъ и горизонтальнымъ линіямъ. Подобнаго рода постройки, коихъ внутренняя вмѣстимость конечно была тѣсно ограничена длиною имѣвшихся каменныхъ или деревянныхъ балокъ, вполнѣ удовлетворяли цѣлямъ греческаго богослуженія, главныя священнодѣйствія котораго совершались подъ открытымъ небомъ. Напротивъ, древніе Италіянцы (Этруски) изобрѣли сводъ составленный изъ клинообразныхъ камней. Помощью этого техническаго изобрѣтенія стало возможно покрывать сводами болѣе обширныя постройки, чѣмъ тѣ, которыя могли покрывать Греки деревянными балками. Извѣстно, что между этими сводчатыми постройками, въ послѣдующемъ развитіи архитектуры, играли весьма важную роль базилики. Съ появленіемъ сводчатаго закрытія въ романскомъ (византійскомъ) искусствѣ, полуциркульная арка является господствующимъ мотивомъ для расположенія и украшенія частей. Колонны въ зависимости отъ большей тяжести превратились въ пилоны, къ которымъ послѣ полнаго развитія этого стиля, присоединились колонны, но только весьма малыхъ размѣровъ, вдавшіяся на половину въ массу пилоновъ, являясь въ видѣ украшенія послѣднихъ и служа продолженіемъ рёберъ свода, которыя распро-

страняются лучеобразно отъ верхней оконечности пилоновъ къ потолку.

Клинообразно обтесанные камни распирають другъ друга въ сводѣ; но такъ какъ они равномѣрно нажимаются во внутрь, то каждый изъ нихъ дѣйствительно мѣшаетъ паденію прочихъ. Самое сильное и самое опасное давленіе камней проявляется въ горизонтальной части свода, которые совсѣмъ или почти не имѣютъ наклонной плоскости основанія, а удерживаются отъ паденія только ихъ клинообразною формою и бо́льшею толщиною ихъ верхней части. Слѣдовательно при весьма большихъ сводахъ, средняя горизонтальная часть самая опасная; при малѣйшемъ ослабленіи сосѣднихъ камней она подвергается паденію. Когда же средневѣковыя церковныя зданія получали все большіе размѣры, то придумали совершенно выключить среднюю горизонтальную часть свода, а продолжить постепенно его боковыя части до ихъ встрѣчи въ видѣ стрѣльчатой арки. Съ этого времени, главнымъ основаніемъ при постройкахъ, является стрѣльчатая арка. Постройка раздѣлялась снаружи выступающими контрфорсами. Эти контрфорсы, равно какъ и всюду проявляющаяся стрѣлка придавали зданіямъ остроконечныя формы и внутренность храмовъ становилась необыкновенно высокою. Эта особенность отвѣчала серьезному характеру сѣверныхъ народовъ, и быть можетъ именно остроконечность формы, господствующая съ удивительною послѣдовательностью среди пестраго богатства формъ готическихъ храмовъ со́дѣйствовала къ возвышенію впечатлѣнія силы и могущества.

Отсюда мы видимъ какимъ образомъ техническія изобрѣтенія, отвѣчая возрастающимъ требованіямъ, воспроизвели три совершенно различные между собою стиля, именно прямой горизонтальной линіи, полуциркульнаго свода и стрѣльчатаго свода, и какъ съ измѣненіемъ главнаго плана постройки, мѣнялись также всѣ второстепенныя частности до малѣйшихъ орнаментовъ; поэтому отдѣльныя техническія правила постройки можно понять только по главной идеѣ, лежащей въ основаніи всей постройки. Хотя готическій стиль развилъ самыя богатыя и сами по себѣ послѣдовательныя, сильныя и поразительныя архитектурныя формы, подобно тому какъ наша современная система музыки между остальными, но однако никому не придетъ въ голову утверждать, что будто стрѣльчатый сводъ представляетъ собою первообразную форму всякой архитектурной красоты и что онъ долженъ быть вводимъ повсюду. Въ настоящее время прекрасно знаютъ, что въ художественномъ смыслѣ было бы безсмыслицею сдѣлать готическія окна въ постройкѣ, имѣющей форму греческаго храма, равно какъ и обратно; къ сожалѣнію всякій легко можетъ

убѣдиться, разсматривая большинство нашихъ готическихъ храмовъ, въ томъ, какъ къ общему цѣлому неудачно подходитъ это множество маленькихъ часовень въ греческомъ или романскомъ стилѣ періода возрожденія. На сколько мы не должны принимать за естественное произведеніе готическую стрѣлку, на столько же мы не должны принимать за таковое и нашу мажорную гамму, по крайней мѣрѣ не въ иномъ смыслѣ какъ въ томъ, что обѣ суть необходимое и природою вещей обусловливаемое слѣдствіе принятаго принципа стиля. Подобно тому какъ мы не можемъ примѣнить готическія украшенія къ греческому храму, точно также мы не можемъ улучшить композицій, написанныхъ въ церковныхъ *тонахъ*, прилаживая ихъ къ нашей мажорной или минорной гармоніи. Однако пониманіе этого значенія историческаго развитія искусства не достигло до сихъ поръ желаемаго успѣха не только между музыкантами, но даже у писателей исторіи музыки. Они судятъ по большей части о старинной музыкѣ на основаніи положеній современнаго ученія о гармоніи и всякое отъ него отступленіе склонны принимать за неспособность, или варварское безвкусіе древнихъ *).

И такъ, прежде нежели мы будемъ имѣть возможность перейдти къ построенію гаммъ и къ правиламъ гармоническаго построенія, мы должны постараться опредѣлить основы стиля развитія музыкальнаго искусства, или по крайней мѣрѣ его главныхъ фазъ. Сообразно нашей цѣли мы можемъ различать три главныхъ періода:

1.) Гомофонической музыки (homophone Musik) древнихъ, къ которой также относится нынѣшняя музыка восточныхъ и азіятскихъ народовъ.

2.) Полифонической музыки (polyphone Musik) среднихъ вѣковъ, которая, допуская нѣсколько самостоятельныхъ голосовъ, не придаетъ однако же никакого самостоятельнаго муыкальнаго значенія звуковымъ сочетаніямъ; она продолжается отъ 10 до 17-го столѣтія, пока не переходитъ въ періодъ.

3.) Гармонической или современной музыки (harmonische oder moderne Musik), характеризующейся самостоятельнымъ значеніемъ, пріобрѣтаемымъ гармоніею. Ея начало совпадаетъ съ 16-мъ столѣтіемъ.

---

*) Именно въ историко-музыкальныхъ сочиненіяхъ Кизеветтера (R. G. Kiesewetter), столь богатыхъ тщательно собранными фактами, очевидно господствуетъ преувеличенное желаніе отрицать все то, что не входитъ въ схему мажорнаго или минорнаго *тона*.

1. Гомофоническая музыка.

У всѣхъ народовъ, одноголосная музыка была начальною. Въ этомъ положеніи мы ее до сихъ поръ еще находимъ у Китайцевъ, Индусовъ, Арабовъ, Турокъ и современныхъ Грековъ, хотя эти народы частью и обладаютъ весьма развитыми музыкальными системами. Музыка цвѣтущаго времени Греціи, быть можетъ кромѣ нѣкоторыхъ украшеній, кадансовъ и интермедій, исполнявшихся инструментами, была вполнѣ одноголосна, или же голоса, что теперь можетъ быть вполнѣ подтверждено, слѣдовали другъ съ другомъ развѣ что въ октавѣ. Въ проблемахъ Аристотеля *) встрѣчается слѣдующій вопросъ: «почему поется только одинъ консонансъ октавы?» Въ другомъ мѣстѣ онъ замѣчаетъ, что голоса мальчиковъ и взрослыхъ, отвѣчающіе попеременно другъ другу, составляютъ между собою интервалъ октавы.

Одноголосная музыка, взятая отдѣльно безъ сопровожденія поэзіею, слишкомъ бѣдна формами и перемѣнами, чтобы быть въ состояніи развить большія и богатѣйшія формы искусства. Поэтому собственно инструментальная музыка ограничивается въ этомъ періодѣ по необходимости короткими пьесами для танцевъ, или же маршами; дѣйствительно у народовъ, не имѣющихъ гармонической музыки, больше ничего и не находится. Правда, что виртуозы на флейтахъ **) не разъ одерживали побѣду на пиѳійскихъ играхъ, но вѣдь искусство виртуозовъ можетъ выразиться и въ незначительныхъ формахъ сочиненія, напр. въ варіаціяхъ короткой мелодіи. Принципъ варіацій (μεταβολή) мелодіи съ соблюденіемъ драматическаго выраженія (μίμησις) былъ уже извѣстенъ Грекамъ; это вытекаетъ изъ трудовъ Аристотеля (проблема 15). Онъ описываетъ предметъ весьма ясно и замѣчаетъ, что въ антистрофахъ слѣдуетъ заставлять повторять хоры

---

*) Проблемы XIX 18 и 39. Иногда кажется, что къ концу пѣсни инструментальное сопровожденіе отдѣлено отъ голоса. Повидимому это то, что слѣдуетъ понимать подъ названіемъ крузисъ (κροῦσις ὑπὸ τὴν ᾠδήν) Смотри Арист. пробл. XIX, 39 и Плутарха «de Musica» XIX, XXVIII. Впрочемъ касательно того, что они знали дѣйствіе консонансовъ, но его не любили указываетъ de Audibilibus Аристотеля. Беккеръ (Ed. Bekker) стр. 801: «подобно тому какъ мы лучше понимаемъ когда слушаемъ только одного, чѣмъ многихъ говорящихъ одно и тоже, тоже самое относится и къ струнамъ. Еще хуже если играетъ китара, къ которой присоединяется звукъ флейты, въ этомъ случаѣ голоса между собою сливаются. Это особенно явственно при консонансахъ. Дѣло въ томъ, что оба тона другъ за другомъ скрываются.»

**) Быть можетъ что αὐλοί болѣе подходили къ нашимъ гобоямъ.

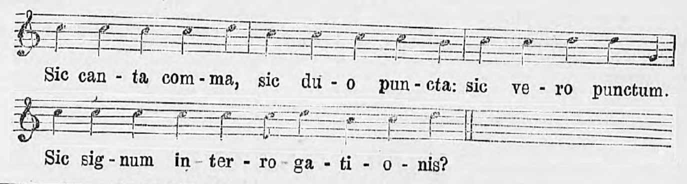
просто мелодію, потому что множество варіацій легче исполнить одному голосу, чѣмъ многимъ, а варіаціи могли бы исполнять конкурирующіе виртуозы и актеры.

Гомофоническая музыка можетъ составлять болѣе обширныя произведенія искусства только при пѣніи въ связи съ поэзіею; въ классической древности ее такъ и примѣняли. Пѣлись не только пѣсни (оды) и религіозные гимны, но исполнялись нѣкоторымъ образомъ музыкально и сопровождались аккомпаньементомъ лиры, даже трагедіи и большія эпическія сочиненія. Теперь мы съ трудомъ можемъ себѣ представить какъ это происходило, потому что по нашему современному направленію вкуса, мы требуемъ отъ хорошаго декламатора или чтеца естественной драматической правды въ декламаціи, и выговоръ на распѣвъ считаемъ за одинъ изъ величайшихъ недостатковъ. Въ выговорѣ на распѣвъ италіянскихъ декламаторовъ и въ литургическихъ напѣвахъ римско-католическихъ священниковъ, мы имѣемъ отголоски декламаціи древнихъ. Впрочемъ немного болѣе внимательное наблюденіе насъ вскорѣ научаетъ, что даже въ обыкновенномъ разговорѣ, въ которомъ звукъ голоса болѣе покрывается шумами, характеризующими отдѣльныя буквы и въ которомъ, кромѣ того, высота тона выдерживается не точно и часто подвержена незамѣтнымъ измѣненіямъ, встрѣчаются совершенно непроизвольныя повышенія и пониженія тоновъ, составленныя по правильнымъ музыкальнымъ интерваламъ. Если произносятся простыя предложенія безъ вліянія внутренняго чувства, то по большей части удерживается нѣкоторая средняя высота тона, измѣняющаяся только въ словахъ съ удареніями въ концахъ и отдѣлахъ предложеній. Конецъ утвердительнаго предложенія передъ точкою, обыкновенно обозначается тѣмъ, что отъ средней высоты тона нисходятъ на кварту; конецъ вопроса часто квинтою выше средняго тона. Напр.: басовый голосъ говоритъ:

Слова, произносимыя съ удареніемъ, выдѣляются также тѣмъ, что ихъ переносятъ примѣрно на тонъ выше остальныхъ и т. д. При торжественной декламаціи повышенія и пониженія тоновъ становятся разнообразнѣе. Современный речитативъ образовался посредствомъ подражанія этимъ повышеніямъ и пониженіямъ въ

*

поющихся нотахъ. На счетъ этого высказывается совершенно ясно изобрѣтатель речитатива Іаковъ Пери (Jacob Peri) въ предисловіи къ своей оперѣ Эврилика, изданной въ 1600 году. Тогда старались возстановить декламацію древнихъ трагедій речитативомъ. Конечно декламація древнихъ отличалась до нѣкоторой степени отъ нашего современнаго речитатива тѣмъ, что она сохраняла болѣе точно размѣръ стиховъ и тѣмъ, что въ ней недоставало сопровождающихъ аккордовъ. Однако при хорошемъ исполненіи современнаго речитатива, мы можемъ себѣ составить лучшее понятіе о томъ, на сколько выраженіе словъ можетъ быть болѣе усилено подобною музыкальною декламаціею, чѣмъ монотоннымъ напѣвомъ римско-католическихъ священниковъ, хотя послѣдній и подходитъ болѣе къ декламаціи древнихъ нашего опернаго речитатива. Учрежденіе римско-католической литургіи папою Григоріемъ Великимъ (отъ 590 до 604 г.) относится къ тому времени, когда древнее искусство, хотя и было нарушено и обезображено, но могло еще быть передано традиціею; это въ особенности справедливо, если сдѣлать весьма вѣроятное предположеніе, что папа Григорій только окончательно утвердилъ въ общихъ чертахъ правила, бывшія въ употребленіи въ школахъ римскаго пѣнія, установленныхъ папою Сильвестромъ (отъ 314 до 335 г.). Большинство этихъ формулъ, относящихся къ чтеніямъ, сборнымъ молитвамъ и т. д., ясно подражаютъ повышенію и пониженію голоса обыкновеннаго разговора. Онѣ слѣдуютъ въ одинаковой высотѣ тона, которая не много измѣняется для отдѣльныхъ ударяемыхъ, или не латинскихъ словъ; для каждаго знака препинанія предписаны особыя заключительныя формулы, какъ напр: въ чтеніяхъ, употреблявшихся въ Мюнстерѣ. *)



*) Antony, учебникъ грегоріанскаго церковнаго пѣнія. Мюнстеръ 1829. По свѣдѣніямъ собраннымъ въ Histoire générale de Musique Фетиса Paris 1869, часть I глава VI эту систему декламаціи съ предписанными для пея кадансами вѣроятнѣе вывести изъ еврейскаго устава пѣнія при богослуженіяхъ. Уже въ древнѣйшихъ рукописяхъ стараго завѣта для такихъ кадансовъ и мелодичныхъ фразъ встрѣчаются 25 различныхъ знаковъ. А то обстоятельство, что соотвѣтствующіе значки греческой церкви суть египетскіе знаки для обозначенія демотическаго алфавита, указываетъ на болѣе раннее происхожденіе этой нотаціи отъ Египтянъ.

Смотря по торжественности праздника, важности предмета, званію декламирующаго или отвѣчающаго священника, эти или подобныя заключительныя формулы были то болѣе, то менѣе украшаемы. Въ нихъ легко узнается стремленіе къ подражанію натуральнымъ повышеніямъ и пониженіямъ тоновъ обыкновеннаго разговора, но такъ, чтобы онѣ, будучи освобождены отъ отдѣльныхъ неправильностей, звучали торжественнѣе. Правда, что въ такихъ прочно установленныхъ формулахъ не обращается вниманія на грамматическій смыслъ предложеній, который тѣмъ не менѣе видоизмѣняетъ весьма разнообразно интонацію. Подобнымъ же образомъ можно полагать, что древніе трагическіе поэты предписывали своимъ актерамъ повышенія и пониженія тоновъ, въ которыхъ они должны были говорить и въ этомъ ихъ удерживали, посредствомъ музыкальнаго сопровожденія. Такъ какъ древняя трагедія, какъ это показываютъ искусственные ритмы, необыкновенная акцентуація словъ, неподвижныя и чуждыя для пьесы маски, уклонялась гораздо болѣе современной отъ внѣшней естественной правды, то для декламаціи могъ бы быть пригоденъ болѣе пѣвучій тонъ, чѣмъ тотъ, который бы подходилъ къ нашему современному слуху. При этомъ мы должны предположить, что этотъ родъ декламаціи могъ быть значительно оживленъ посредствомъ акцентуаціи (увеличенія силы тона) отдѣльныхъ словъ, скоростью или медленностью рѣчи и пантоминою; если бы исполнитель не умѣлъ бы его такъ оживлять, то декламація бы стала невыносимо монотонною.

Но во всякомъ случаѣ, хотя гомофоническая музыка и служила къ сопровожденію поэтическихъ произведеній значительнаго объема и высшаго рода, тѣмъ не менѣе она по необходимости играла совершенно не самостоятельную роль. Музыкальные обороты должны были совершенно зависѣть отъ мѣняющагося смысла словъ и не могли безъ него имѣть самостоятельнаго художественнаго значенія и взаимной связи. Пѣніе, по данной продолжающейся мелодіи, гекзаметровъ въ эпическихъ поэмахъ, или ямбическихъ триметровъ въ трагедіяхъ, было бы невыносимо. Напротивъ, тѣ мелодіи (невмы), по которымъ исполнялись въ трагедіяхъ оды и хоры, допускали болѣе свободы и самостоятельности. Для одъ существовали также извѣстныя мелодіи, названія которыхъ частью еще сохранены и на которыя постоянно писались новыя стихотворенія.

Слѣдовательно, въ выполнявшихся большихъ художественныхъ произведеніяхъ, музыка должна была быть совершенно несамостоятельною; самостоятельно она могла образовать только короткія предложенія. Съ этимъ находится существенно въ связи развитіе музыкальной системы гомофонической музыки. Вообще у тѣхъ націй, ко-

торыя обладаютъ такою музыкою, мы находимъ установленными извѣстныя послѣдовательности ступеней опредѣленныхъ высотъ, въ которыхъ движутся мелодіи. Эти гаммы весьма разнообразнаго и частью по видимому весьма произвольнаго рода, такъ что многія намъ кажутся совершенно чуждыми и непонятными, тогда какъ между болѣе одаренными націями, въ которыхъ онѣ встрѣчаются, какъ то: у Грековъ, Арабовъ и Индусовъ, онѣ были разработаны чрезвычайно тщательно и разнообразно.

При разсмотрѣніи этихъ системъ тоновъ, для предстоящей намъ цѣли существенно важно отдать себѣ отчетъ о томъ, что имѣютъ ли всѣ тоны гаммы опредѣленное отношеніе къ одному отдѣльному главному или основному тону, тоникѣ. Новѣйшая музыка вноситъ чисто музыкальную внутреннюю связь во всѣ тоны сочиненія тѣмъ, что всѣ они приводятся въ одно, по возможности явственно слухомъ воспринимаемое, сродное къ тоникѣ, отношеніе. Господство тоники, какъ посредствующаго и соединяющаго всѣ тоны сочиненія члена, мы можемъ обозначить вмѣстѣ съ Фетисомъ (Fétis), какъ принципъ тональности. Этотъ ученый музыкантъ справедливо обращаетъ вниманіе на то, что въ мелодіяхъ различныхъ націй, тональность развита въ весьма различной степени и различнымъ образомъ. Именно въ пѣсняхъ современныхъ Грековъ, въ пѣснопѣніи греческой церкви и грегоріанскомъ пѣніи римско-католической церкви, тональность не развита до такой степени, чтобы ихъ можно было легко гармонизировать; съ другой стороны Фетисъ *) нашелъ, что къ гармоническому сопровожденію могутъ быть легко приспособлены древнія мелодіи сѣверныхъ народовъ германскаго, кельтическаго и славянскаго происхожденія.

Поразительно въ самомъ дѣлѣ то, что въ письменахъ Грековъ о музыкѣ, въ которыхъ обсуждены весьма обстоятельно частности и находятся точнѣйшіе выводы о другихъ всевозможныхъ особенностяхъ гаммъ, ничего ясно не сказано о господствующемъ и всюду наияснѣйшимъ образомъ чувствующимся предъ всѣми другими въ современной музыкѣ фактѣ. Единственныя указанія на существованіе тоники мы находимъ не у писателей о музыкѣ, а снова у Аристотеля **), который задается именно слѣдующимъ вопросомъ:

«Если кто нибудь изъ насъ измѣнитъ средній тонъ (μέση), послѣ того какъ онъ настроилъ всѣ другія струны и будетъ играть на ин-

*) Fétis Biographie universelle des Musiciens t. I, p. 126.

**) Problemata 20 и 26. Въ началѣ послѣдней по догадкамъ моего товарища Старка (Stark) вмѣсто φθεγγόμεναι и φθέγγεται, не имѣющихъ никакого здраваго смысла, слѣдуетъ поставить φθειρόμεναι и φθείρεται.—Первое мѣсто уже цитировано также частью Амброзомъ.

струментѣ, то почему все звучитъ плохо и кажется дурно настроеннымъ, не только когда онъ доходитъ до средняго тона, но и во всѣхъ другихъ частяхъ мелодіи? Но если измѣнить Лиханосъ или одинъ изъ другихъ тоновъ, то разница проявляется только тогда, когда воспроизводятъ только этотъ тонъ. Не происходитъ ли это на опредѣленномъ основаніи, потому что всѣ хорошія мелодіи требуютъ часто средній тонъ и всѣ хорошіе композиторы часто возвращаются къ среднему тону и если они его покидаютъ, то вскорѣ опять къ нему возвращаются, чего не дѣлаютъ въ той же степени для другихъ тоновъ». Затѣмъ онъ еще сравниваетъ средній тонъ съ союзами, въ особенности же съ тѣми, которые имѣютъ значеніе союза «и», и безъ которыхъ не можетъ существовать рѣчи. «Такимъ же образомъ средній тонъ есть какъ бы союзъ тоновъ и именно прекраснѣйшихъ, потому что онъ чаще всего встрѣчается». Въ другомъ мѣстѣ мы находимъ тотъ же вопросъ съ немного измѣненнымъ отвѣтомъ: «почему когда измѣняется средній тонъ, всѣ другія струны звучатъ какъ будто фальшиво? Но если средній тонъ остается неизмѣннымъ, а измѣняется только звукъ одной изъ другихъ струнъ, то нарушается только одна измѣненная. Происходитъ ли это отъ того, что вѣрность всѣхъ струнъ ничто иное какъ извѣстное отношеніе къ среднему тону, которымъ дается положеніе каждаго изъ другихъ тоновъ? Но если уничтожить то, что служитъ основою настройки и связи, то порядокъ кажется уже въ той же степени не существующимъ». Въ этихъ умозрѣніяхъ эстетическое значеніе тоники, названной здѣсь среднимъ тономъ, описано на столько хорошо, на сколько это возможно. Къ этому слѣдуетъ еще прибавить, что Пиѳагорейцы сравнивали средній тонъ съ солнцемъ, а другіе тоны гаммы съ планетами *). Кажется, что по правилу пѣніе обыкновенно начинали съ названнаго средняго тона, потому что въ 33-й проблемѣ Аристотеля говорится слѣдующее: «Почему гармоничнѣе слѣдовать нисходя, чѣмъ восходя? Быть можетъ неоттого ли, что въ первомъ случаѣ начинаютъ съ истиннаго начала, потому что средній тонъ есть также выше всего расположенный вождь тетрахорда (именно низшаго). Противоположное слѣдованіе означало бы, что начинаютъ не сначала, а съ конца. Или быть можетъ, что послѣ дисканта, басъ звучитъ благороднѣе и благозвучнѣе?» Но отсюда повидимому выходитъ, что среднимъ тономъ, съ котораго обыкновенно начинали, не оканчивали пьесы, а оканчивали ее нижайшимъ тономъ Гипатомъ, о которомъ Аристотель опять говоритъ въ четвертой проблемѣ то, что въ противоположность непосредственно рядомъ съ нимъ лежащаго Паргипата, Гипатъ поется безъ всякаго

*) Nicomachus Harmonice Lib I, p. 6, Edit. Meibomii.

усилія. Эти слова Аристотеля, мы во всякомъ случаѣ будемъ имѣть право примѣнить къ національно дорійской скалѣ Эллиновъ, которая была расширена Пиѳагоромъ до восьми тоновъ и можетъ быть обозначена такъ:

Низшій тетрахордъ { *E* Гипатъ. *F* Паргипатъ. *G* Лиханосъ. *A* Мезе (средній тонъ).

Высшій тетрахордъ { *H* Парамезе. *C* Трите. *D* Паранете. *E* Нете.

По современному способу выраженія изъ только что цитированнаго описанія Аристотеля выходитъ, что Паргипатъ составляетъ родъ нисходящаго вводнаго тона для Гипата. Въ вводномъ тонѣ ощутительно напряженіе, прекращающееся съ его переходомъ въ основной тонъ.

Если теперь средній тонъ соотвѣтствуетъ тоникѣ, то Гипатъ будетъ его квинтою, т. е. доминантою. Но для нашего чувства гораздо необходимѣе заключать тоникою, чѣмъ ею начинать, поэтому то за тонику мы вообще и принимаемъ, безъ дальнѣйшихъ разсужденій, послѣдній заключительный тонъ сочиненія. Однако въ современной музыкѣ существуетъ правило, по которому тоника воспроизводится въ первой ударяемой части такта начала сочиненія. Вся масса тоновъ развивается изъ тоники и опять къ ней возвращается. Полное удовлетвореніе въ заключеніи иначе невозможно, какъ если рядъ тоновъ не достигнетъ соединяющаго центра всей пьесы.

Слѣдовательно, въ этомъ отношеніи древняя греческая музыка, оканчиваясь доминантою, а не тоникою, по видимому уклонялась отъ нашей современной. Впрочемъ это въ полнѣйшей аналогіи съ удареніями рѣчи. Мы видѣли, что окончаніе утвердительныхъ предложеній также падаетъ на ближайшую нижнюю квинту главнаго тона. Эта же особенность сохранена также по большей части и въ современномъ речитативѣ, въ которомъ голосъ обыкновенно оканчиваетъ доминантою, сопровожденною доминант-септаккордомъ инструментовъ, за которымъ слѣдуетъ тоническій аккордъ, который служитъ для составленія необходимаго для нашего музыкальнаго чувства заключенія въ тоникѣ. Такъ какъ греческая музыка образовалась на декламаціи эпическихъ гекзаметровъ и ямбическихъ триметровъ, то мы не должны удивляться тому, что въ написанныхъ для одъ мелодіяхъ, упомянутыя особенности поющейся рѣчи остались столь преобладающими, что Аристотель могъ полагать, что ихъ появленіе составляетъ правило *).

Изъ приведенныхъ фактовъ, что для нашей цѣли особенно важно, выходитъ, что у Грековъ, у которыхъ впервые развилась наша діатоническая гамма, не было въ эстетическомъ отношеніи недостатка въ чувствѣ тональности, но что оно однако еще не было развито такъ ясно какъ въ новѣйшей музыкѣ и въ особенности, какъ кажется, не обнаруживалось ясно въ техническихъ правилахъ построенія мелодіи. Поэтому Аристотель, который изслѣдуетъ музыку какъ эстетикъ, единственный, какъ до сихъ поръ извѣстно, писатель, который объ этомъ говоритъ; собственно писатели о музыкѣ, не упоминаютъ къ несчастію, объ этомъ вовсе и указанія Аристотеля такъ скудны, что оставляютъ за собою еще достаточно сомнѣній. Онъ именно ничего не упоминаетъ о различіяхъ разныхъ ладовъ въ отношеніи къ главному тону, такъ что важнѣйшая точка зрѣнія, съ которой мы должны были бы разсматривать построеніе греческихъ гаммъ, остается какъ разъ совершенно неразъясненною.

Отношеніе къ тоникѣ выражено болѣе опредѣленно въ гаммахъ древне-христіанской церковной музыки. Сначала различали четыре, такъ называемыя, автентическія гаммы, которыя были введены епископомъ миланскимъ Амвросіемъ († 398). Ни одна изъ нихъ не согласуется ни съ одною изъ нашихъ современныхъ гаммъ; присоединенные впослѣдствіи папою Григоріемъ четыре плагіальныхъ ряда тоновъ вовсе не гаммы въ томъ смыслѣ, какъ мы это понимаемъ теперь. Четыре автентическія амвросіанскія гаммы суть:

1) *D E F G A H C D*
2) *E F G A H C D E*
3) *F G A H C D E F*
4) *G A H C D E F G*

Однако быть можетъ, что измѣненіе *H* въ *B* было дозволено съ самаго начала; вслѣдствіе этого первая гамма становилась тожественною нашей нисходящей минорной гаммѣ, а третья тожественною гаммѣ *F*—Dur. По правилу того времени, напѣвы первой гаммы заключались въ *D*, второй съ *E*, третьей въ *F*, четвертой въ *G*. Вслѣдствіе этого, въ современномъ смыслѣ слова, эти тоны имѣли значеніе тоники. Но это правило строго не исполнялось. Можно было также дѣлать заключенія въ другихъ тонахъ гаммы, въ такъ назы-

*) Среди считающихся и до насъ дошедшихъ древнихъ мелодій, отрывокъ изъ гомерической оды, изданный Марчелло (B. Marcello) указываетъ весьма явственно на приведенную особенность.

ваемыхъ заключительныхъ тонахъ, отчего запутанность стала къ концу концовъ такъ велика, что никто не умѣлъ правильно объяснить какимъ образомъ слѣдовало бы узнавать *тонъ*; при этомъ были представлены всевозможныя, но неудовлетворительныя правила и наконецъ прибѣгли къ механическому вспомогательному средству, а именно къ установленію извѣстныхъ начальныхъ и заключительныхъ фразъ, такъ называемыхъ тропъ, которыя должны были характеризовать *тонъ*.

Слѣдовательно, хотя въ этихъ средневѣковыхъ церковныхъ *тонахъ* уже и замѣтили правило тональности, однако это правило было само такъ не вѣрно и допускало такъ много исключеній, что мы не можемъ сомнѣваться, что чувство тональности было развито тогда гораздо менѣе, чѣмъ въ современной музыкѣ.

Впрочемъ Индусы, дошли также въ своей одноголосной музыкѣ до понятія о тоникѣ. Они называютъ ее «Ансою» (Ansa) *). Мелодіи Индусовъ, въ томъ видѣ, въ какомъ онѣ записаны англійскими путешественниками, по видимому весьма сходны съ современными европейскими. Тоже самое замѣтили Фетисъ и Куссемакеръ **) (Coussemaker) относительно немногихъ извѣстныхъ остатковъ древне германскихъ и кельтическихъ мелодій.

Слѣдовательно, если въ одноголосной музыкѣ отношеніе къ одному господствующему тону, тоникѣ, частью и существуетъ, то не можетъ быть сомнѣнія, что оно было развито гораздо менѣе, чѣмъ въ музыкѣ современной, гдѣ небольшое число слѣдующихъ другъ за другомъ аккордовъ достаточны для опредѣленія *тона*, въ которомъ движется данная часть сочиненія. Мнѣ кажется, что сказанное объ одноголосной музыкѣ, зависитъ отъ ея неразвитости и второстепенной роли. Мелодіи, которыя движутся въ предѣлахъ незначительнаго числа тоновъ, восходя и нисходя, и имѣющія уже для своей связи не музыкальное вспомогательное средство, а именно слова поэзіи, не нуждаются ни въ какомъ послѣдовательно проведенномъ музыкальномъ связывающемъ средствѣ. Тональность удерживается также гораздо менѣе въ современномъ речитативѣ, чѣмъ въ другихъ формахъ композиціи. Необходимость крѣпкой связи массы тоновъ посредствомъ чисто музыкальныхъ способовъ, проявляется художественному чувству болѣе явственно только тогда, когда слѣдуетъ соединить художественно большія массы тоновъ, долженствующія имѣть самостоятельный смыслъ безъ помощи поэзіи.

*) Джонсъ (Jones) о музыкѣ Индусовъ, переведено на нѣмецкій языкъ Дальбергомъ стр. 36 и 37.

**) Histoire de l'Harmonie au moyen age. Paris 1852, p. 5 до 7.

2. Полифоническая музыка.

Полифоническая средневѣковая музыка составляетъ второй періодъ развитія музыки. Такъ называемый органъ (Organum) или діафонія, какъ онъ былъ впервые описанъ въ началѣ десятаго столѣтія фландрскимъ монахомъ Гукбальдомъ (Hucbald), приводятъ обыкновенно какъ первый примѣръ многоголосной музыки. При этомъ два голоса должны были слѣдовать другъ возлѣ друга въ квинтахъ или квартахъ; иногда присоединялись также удвоенія одного изъ нихъ, или обоихъ въ октаву. Для насъ это невыносимо. Однако по объясненію Поля *) (O. Paul) дѣло не шло объ одновременномъ исполненіи обоихъ голосовъ, а только объ отвѣтномъ повтореніи одной и той же транспонированной мелодіи; на Гукбальда слѣдуетъ смотрѣть какъ на изобрѣтателя этого, сдѣлавшагося впослѣдствіи столь важнымъ принципомъ въ фугѣ и сонатѣ.

Первою несомнѣнною формою многоголосной музыки былъ такъ называемый discantus, сдѣлавшійся извѣстнымъ въ концѣ XI столѣтія во Франціи и во Фландріи. Стариннѣйшіе сохранившіеся примѣры discantus'a такого рода, что двѣ совершенно различныя мелодіи, которыя по видимому выбирались, на сколько было возможно различными, прилаживались другъ къ другу малыми перемѣнами ритма или высоты тоновъ до тѣхъ поръ, пока онѣ до нѣкоторой степени не составляли между собою консонирующаго цѣлаго. Первоначально по видимому охотно сочетали литургическій напѣвъ съ какою нибудь ничтожною пѣсенкою. Первые примѣры такого рода не могли имѣть другаго значенія какъ маленькихъ музыкальныхъ пьесъ, служившихъ для развлеченія общества. Это было новымъ открытіемъ, которымъ забавлялись тѣмъ, что двѣ совершенно различныя независимыя мелодіи могли быть одновременно пѣты и звучать въ тоже время благозвучно.

Принципъ discantus' а принесъ плоды и былъ такого рода, что могъ въ то время развиться; изъ него произошла собственно полифоническая музыка. Различные голоса, каждый самъ по себѣ самостоятельный и имѣющій свою собственную мелодію, должны были быть соглашены такъ, чтобы они не образовывали вовсе диссонансовъ, или же только составляли диссонансы быстро проходящіе, тотчасъ же разрѣшающіеся. Консонансъ самъ по себѣ не былъ цѣлью, которую стремились достигнуть; надо было только избѣгнуть его противуположности, т. е. диссонанса. Весь интересъ сосредоточивался въ движеніи голосовъ. Для соглашенія различныхъ голо-

*) Geschichte des Claviers. Leipzig 1868 S. 49.

совъ было необходимо строгое выполненіе такта; поэтому подъ вліяніемъ discantus' а, система музыкальной ритмики (Rhythmik) развилась чрезвычайно разнообразно и способствовала въ свою очередь болѣе сильному и ощутительному движенію мелодіи. Грегоріанскій *Cantus firmus* не имѣлъ никакого размѣщенія такта, а ритмика танцовальной музыки была также чрезвычайно проста. Кромѣ того, богатство и интересъ мелодическаго движенія достигало той же степени, въ какой умножались голоса; но для того чтобы установить художественную связь между различными голосами, которой, какъ мы это видѣли, первоначально совершенно недоставало, необходимо было еще новое открытіе, которое проявилось сначала въ видѣ небольшихъ попытокъ, чтобы наконецъ достигнуть преобладающаго значенія во всемъ современномъ искусствѣ композиціи. Оно состояло въ томъ, что заставляли повторять музыкальную фразу, исполненную однимъ голосомъ, другимъ; такимъ образомъ произошли подражанія въ канонѣ, которыя мы уже находимъ въ отдѣльности въ discantus въ двѣнадцатомъ столѣтіи. *) Эти подражанія развились мало по малу въ чрезвычайно художественную систему, въ особенности же у нидерландскихъ композиторовъ, которые къ своимъ сочиненіямъ прилагали болѣе разсчета нежели вкуса.

Но посредствомъ этого рода полифонической музыки, повтореніе другъ за другомъ тѣхъ же мелодическихъ оборотовъ въ различныхъ голосахъ, дало впервые возможность сочинять болѣе обширныя музыкальныя сочиненія, которыя не находили уже свою художественную связь въ соединеніи съ постороннимъ искусствомъ—поэзіею, а находили ее чисто въ музыкальныхъ средствахъ. Этотъ родъ музыки подходилъ въ высшей степени къ церковному пѣнію, въ которомъ хоръ долженъ былъ выразить ощущенія цѣлаго собранія, составленнаго изъ разнообразныхъ личностей; однако его примѣнили не только къ церковнымъ сочиненіямъ, но также и къ свѣтскимъ напѣвамъ и мадригаламъ. Въ то время еще не знали никакой другой художественно развитой формы гармонической музыки, кромѣ основанной на повтореніяхъ въ канонѣ. Если бы ею пренебрегли, то должны были бы ограничиться музыкою гомофоническою; поэтому то и существуетъ такое множество напѣвовъ того времени, сочиненныхъ въ строгомъ канонѣ, или же въ повтореніяхъ въ канонѣ.

Стариннѣйшіе примѣры многоголосныхъ инструментальныхъ композицій, а именно танцовальныя пьесы 1529 года, **) сочинены также въ стилѣ мадригаловъ и мотетовъ, родѣ сочиненій, кото-

*) Coussermaker l. c. Déchant: Custodi nos. Pl. XXVII Nro IV. Uebersetzt in p. XXVII, Nro. XXIX.

**) Winterfeld l. c. Bd. II, S. 19 und S. 59.

рый впрочемъ продолжается въ болѣе свободной обработкѣ до сюитъ временъ Баха и Генделя. Даже при первыхъ опытахъ драматической музыки въ XVI столѣтіи, не имѣли еще другой формы для музыкальнаго выраженія чувствъ дѣйствующихъ лицъ, какъ пѣніемъ хоромъ на сценѣ или за сценою мадригаловъ въ фугированномъ стилѣ. Въ настоящее время едва ли возможно себѣ составить понятіе о томъ состояніи искусства, которое строило въ своихъ хорахъ наисложнѣйшія сочетанія голосовъ и при этомъ не въ состояніи было сдѣлать, для пополненія гармоніи, простаго сопровожденія къ пѣсни, или дуэту. Однако же когда читаешь какъ восторгались и изумлялись открытіемъ Іаковомъ Пери речитатива, сопровождаемаго простыми аккордами, какія произошли пренія за славу этого открытія, какого надѣлалъ шуму Віадана (Viadana), тѣмъ, что нашелъ возможность присоединить къ одноголоснымъ и двуголоснымъ напѣвамъ *Basso continuo* въ качествѣ не самостоятельнаго голоса, который долженъ былъ служить только гармоніи, *) то нельзя сомнѣваться, что искусство сопровождать мелодію аккордами, которое теперь доступно каждому диллетанту, было до конца XVI столѣтія еще вполнѣ неизвѣстно музыкантамъ. Въ XVI столѣтіи стали впервые сознавать то значеніе, которое имѣютъ аккорды какъ части общаго гармоническаго построенія, независимо отъ голосоведенія.

Этому положенію искусства соотвѣтствовало и положеніе системы тоновъ. Въ сущности были сохранены древніе церковные *тоны*, изъ коихъ первый обнималъ рядъ тоновъ отъ D до d, второй отъ E до e, третій отъ F до f, четвертый отъ G до g. Между ними рядъ отъ F до f былъ не годенъ для гармонической обработки, потому что заключалъ въ себѣ вмѣсто кварты $F—B$ тритонъ $F—H$. Съ другой стороны не было основанія исключить ряды отъ C до c и отъ G до g. Такимъ образомъ церковные *тоны* измѣнились подъ вліяніемъ полифонической музыки; но такъ какъ не смотря на измѣненіе они сохранили старыя неумѣстныя названія, то въ распознаваніи *тоновъ* произошла страшная запутанность. Въ концѣ этого періода одинъ ученый теоретикъ Глареанъ попытался привести снова въ порядокъ ученіе о *тонахъ* въ своемъ Додекахордонѣ (Базель 1547). Онъ различалъ 12 *тоновъ*,—6 автентическихъ и 6 плагіальныхъ и далъ имъ греческія названія, которыя однако были примѣнены неправильно. Тѣмъ не менѣе его номенклатура церковныхъ *тоновъ* была вообще сохранена и впослѣдствіи. Автентическіе церковные

*) Winterfeld, Iohannes Gabrieli und sein Zeitalter. Bd. II, S. 41.

тоны (Kirchentöne) Глареана съ ихъ греческими названіями суть слѣдующіе шесть:

іонійскій:	*C D E F G A H C*
дорійскій:	*D E F G A H C D*
фригійскій:	*E F G A H C D E*
лидійскій:	*F G A H C D E F*
миксолидійскій:	*G A H C D E F G*
эолійскій:	*A H C D E F G A*

Іонійскій отвѣчаетъ нашей мажорной системѣ, эолійскій нашей минорной; лидійскій, вслѣдствіе своей фальшивой кварты, былъ едва употребляемъ въ полифонической музыкѣ и постоянно со всевозможными измѣненіями.

Какъ мало умѣли судить о музыкальномъ значеніи гармоническаго построенія обнаруживается въ ученіи о *тонахъ* тѣмъ, что при опредѣленіи *тона* полифоническаго сочиненія принимались въ соображеніе только отдѣльные голоса. Глареанъ предписываетъ въ нѣкоторыхъ сочиненіяхъ вести различные голоса, какъ то: теноръ и басъ, сопранъ и альтъ въ различныхъ *тонахъ*; Царлино (Zarlino) принимаетъ за главный голосъ теноръ, по которому и можно судить о *тонѣ* всего сочиненія.

Практическія послѣдствія этого несоблюденія гармоніи разнообразно обнаруживаются въ сочиненіяхъ. Вообще ограничивались тонами діатонической гаммы; знаки, измѣняющіе высоту тона, употреблялись мало. Пониженіе тона *H* въ *B* было уже введено у Грековъ въ особомъ тетрахордѣ Синемменой (Synemmenoi), которое и удержалось. Кромѣ того, чтобы получить въ каденсахъ вводные тоны, ставили иногда ♯ передъ *f*, *c* и *g*. Слѣдовательно, въ томъ смыслѣ какъ мы это понимаемъ теперь, модуляціи изъ *тона* одной тоники въ другой совершенно почти и не было. Кромѣ того до конца XV столѣтія сохранились предпочитаемые аккорды изъ октавъ и квинтъ безъ терцій, которые намъ кажутся не полнозвучными и которыхъ мы стараемся избѣгать. Композиторамъ среднихъ вѣковъ они казались благозвучнѣйшими, потому что упомянутые композиторы нуждались только въ возможно болѣе совершенныхъ консонансахъ, которые именно и должны были входить въ заключительный аккордъ. Встрѣчающіеся диссонансы вообще такіе, которые образуются задержаніями или проходящими тонами; въ то время не было вовсе септаккордовъ, которые имѣютъ такое большое значеніе въ новѣйшей гармоніи для обозначенія *тона*, связи и ускоренія гармоническаго слѣдованія.

Слѣдовательно, какъ не велики были успѣхи искусства этого періода

относительно ритмики и искусства голосоведенія, для гармоники (Harmonik) и системы тоновъ было собрано не болѣе какъ множество неприведенныхъ еще въ порядокъ попытокъ. Такъ какъ, вслѣдствіе запутаннаго хода голосовъ, аккорды проявлялись въ разнообразныхъ обращеніяхъ и слѣдованіяхъ, то музыканты того времени, хотя и не умѣли пользоваться дѣйствіемъ аккордовъ, но не могли обойтись безъ того, чтобы въ нихъ не вслушиваться и не изучать ихъ дѣйствіе. Во всякомъ случаѣ попытки того времени подготовили развитіе собственно гармонической музыки и дали возможность музыкантамъ осуществить это развитіе, когда бы того потребовали внѣшнія вліянія.

3. Гармоническая музыка.

Современная гармоническая музыка характеризуется тѣмъ, что гармонія въ ней пріобрѣтаетъ самостоятельное значеніе для выраженія и художественной связи сочиненія. Внѣшнія побудительныя причины этого преобразованія музыки были разнородны. Первая изъ нихъ исходила изъ протестантскаго церковнаго пѣнія. Въ принципѣ протестантизма лежало то, что прихожане должны были сами исполнять церковное пѣніе; отъ нихъ нельзя было требовать исполненія искусственныхъ ритмическихъ трудностей нидерландской полифоніи. Напротивъ, основатели новаго ученія и Лютеръ во главѣ ихъ, были слишкомъ проникнуты могуществомъ и значеніемъ музыки, чтобы опять возвратиться къ простому одноголосному пѣнію; поэтому для композиторовъ протестантскаго церковнаго пѣнія явилась задача написать просто гармонизованные хоралы, въ которыхъ бы всѣ голоса двигались одновременно. Этимъ была отнята возможность повтореній въ канонѣ одинаковыхъ мелодическихъ фразъ въ различныхъ голосахъ, которыя главнымъ образомъ и удерживали единство всего цѣлаго. Теперь надо было отыскать новый соединяющій принципъ въ звукѣ самихъ тоновъ и онъ получился болѣе строгимъ соотношеніемъ къ господствующей тоникѣ. Успѣхъ этой задачи облегчался тѣмъ, что протестантскіе церковные напѣвы примѣнялись по большей части къ существующимъ уже народнымъ напѣвамъ и тѣмъ, что народныя пѣсни германскихъ и кельтическихъ племенъ какъ это уже было замѣчено прежде, обнаруживали болѣе опредѣленное чувство къ тональности, въ современномъ смыслѣ этого слова, чѣмъ пѣсни южныхъ народовъ.

Такимъ образомъ, уже въ протестантскихъ церковныхъ пѣсняхъ, XVI столѣтія, система гармоніи іонійскаго церковнаго лада, нашего нынѣшняго мажора, развилась довольно правильно, такъ что въ этихъ хоралахъ мы даже теперь ничего не находимъ чуждаго на-

шему музыкальному чувству, хотя тамъ и недостаетъ нѣкоторыхъ впослѣдствіи найденныхъ вспомогательныхъ средствъ для болѣе точнаго обозначенія *тона*, напр. септаккордовъ. Напротивъ, прошло гораздо болѣе времени, пока остальные церковные лады, въ гармонизаціи которыхъ еще господствовало много неопредѣленнаго, слились въ нашу минорную систему. Протестантская церковная пѣснь того времени производила могущественное дѣйствіе на душу современниковъ; это подтверждается со всѣхъ сторонъ восторженными отзывами, такъ что не можетъ быть никакого сомнѣнія, что впечатлѣніе подобной музыки было само по себѣ совершенно ново и особенно могущественно.

Реформа церковнаго пѣнія потребовалась и въ римско-католической церкви. Заблужденія полифоническаго искусства нарушали смыслъ словъ, дѣлали ихъ непонятными и затрудняли разрѣшеніе запутанности голосовъ часто даже для ученаго и развитаго слушателя. Вслѣдствіе переговоровъ на Тридентскомъ соборѣ и по порученію папы Пія IV, Палестрина совершилъ это упрощеніе и улучшеніе церковнаго пѣнія и простыми красотами своихъ произведеній воспрепятствовалъ полнѣйшему вытѣсненію многоголоснаго пѣнія изъ римско-католической литургіи. Палестрина, писавшій для привычныхъ въ искусствѣ хористовъ, не допустилъ совершеннаго паденія сложнаго голосоведенія полифонической музыки, но посредствомъ умѣстныхъ отдѣловъ и размѣщеній, онъ раздѣлилъ какъ массу тоновъ, такъ и массу голосовъ, изъ коихъ послѣдніе большею частью являются распредѣленными между нѣсколькими хорами. Нерѣдко голоса поютъ хоромъ, составляя при этомъ преимущественно консонирующіе аккорды. Такимъ образомъ онъ сдѣлалъ предложенія явственнѣе, понятнѣе и вообще благозвучнѣе. Но уклоненіе церковныхъ ладовъ отъ усовершенствованныхъ для гармоническаго примѣненія новѣйшихъ *тоновъ*, нигдѣ такъ поразительно не обнаруживается какъ у Палестрины и современныхъ ему италіянскихъ композиторовъ церковнаго пѣнія, между которыми слѣдуетъ еще главнѣйшимъ образомъ упомянуть объ уроженцѣ Венеціи I. Габріели (Johann Gabrieli). Палестрина былъ ученикомъ Клавдія Гудимеля (Claude Goudimel), Гугенота, убитаго въ Варѳоломеевскую ночь въ Ліонѣ, которымъ была сдѣлана гармоническая обработка французскихъ псалмовъ, не особенно уклоняющаяся отъ современныхъ гармоническихъ пріемовъ, въ особенности же тамъ, гдѣ они въ мажорѣ. Мелодіи псалмовъ были взяты изъ народныхъ напѣвовъ, или покрайней мѣрѣ имъ подражались. Слѣдовательно Палестрина, благодаря своему учителю, былъ во всякомъ случаѣ знакомъ съ этимъ родомъ сочиненія, но ему приходилось имѣть дѣло съ темами, взятыми изъ грегоріанскаго

Cantus firmus, двигавшимися въ церковныхъ ладахъ, коихъ характеръ долженъ былъ быть удержанъ со всевозможною строгостью, даже въ такихъ предложеніяхъ, коихъ мелодія была имъ самимъ сочинена или измѣнена. Эти лады требовали совершенно иной гармонизаціи, которая для насъ звучитъ весьма чуждо.

Приведу здѣсь какъ примѣръ только начало его восьмиголоснаго Stabat mater.

Здѣсь мы тотчасъ же находимъ, въ самомъ началѣ, тамъ гдѣ бы мы потребовали точнаго обозначенія *тона*, рядъ аккордовъ разнообразнѣйшихъ *тоновъ* отъ *A*—Dur до *F*—Dur, повидимому разбросанныхъ безъ всякаго правила, противно всѣмъ нашимъ правиламъ модуляціи. Кто бы могъ безъ знанія церковныхъ ладовъ опредѣлить по этому началу тонику сочиненія? Въ концѣ первой строфы тоника по видимому *D*, на *D* указываетъ также повышеніе въ первомъ аккордѣ *C* въ *Cis* и главная мелодія, исполняемая теноромъ, допускаетъ въ началѣ принять за тонику *D*. Аккордъ *D*—Moll, который современный композиторъ долженъ бы былъ поставить въ первой части такта перваго такта встрѣчается впервые въ восьмомъ тактѣ сочиненія.

Этотъ примѣръ указываетъ весьма явственно на сущность различія между всею системою церковныхъ ладовъ и нашими современными *тонами*, потому что касательно такихъ композиторовъ, каковъ былъ Палестрина, мы несомнѣнно можемъ предположить, что ихъ гармонизація основывалась на вѣрномъ чувствѣ особенныхъ свойствъ ладовъ, а не на произволѣ или невѣдѣніи гармонизаціи, тѣмъ болѣе, что успѣхи, сдѣланные въ то время въ протестантскомъ церковномъ пѣніи, не могли оставаться въ неизвѣстности.

Въ подобныхъ примѣрахъ, какъ въ только что приведенномъ, мы не находимъ во первыхъ того, чтобы тоническій аккордъ игралъ съ самаго начала господствующую роль, которая ему принадлежитъ въ современной музыкѣ; въ этой послѣдней, тоническій аккордъ имѣетъ тоже господствующее и обобщающее значеніе относительно другихъ аккордовъ, какъ тоника относительно тоновъ присущей ей гаммы; во вторыхъ, мы не находимъ чувства сродства между слѣдующими другъ за другомъ аккордами, тогда какъ современная музыка допускаетъ по правилу слѣдовать другъ за другомъ такимъ аккор-

дамъ, которые соединены между собою общимъ тономъ. Это очевидно находится въ связи съ тѣмъ, что какъ мы это увидимъ впослѣдствіи, въ старинныхъ церковныхъ ладахъ нельзя такъ тѣсно соединять аккорды какъ между собою, такъ и съ тоническимъ аккордомъ, какъ въ нашемъ мажорномъ и минорномъ *тонѣ*.

Слѣдовательно, если у Палестрины и Габріели и распознается тонкое художественное чувство для эстетическаго дѣйствія отдѣльныхъ разнообразныхъ аккордовъ и если въ этомъ отношеніи гармонія уже имѣютъ у нихъ самостоятельное значеніе, то все же еще недостаетъ тѣхъ открытій, которыя бы возстановляли въ сплетеніи аккордовъ музыкальную связь, извлеченную изъ свойствъ самихъ аккордовъ; но эта задача требовала сокращенія и преобразованія существововавшихъ до сихъ поръ гаммъ въ нашъ мажоръ и миноръ. Съ другой стороны вслѣдствіе этого сокращенія терялось по большей части то разнообразіе способовъ выраженія, которое основывалось на разнообразіи гаммъ. Старинныя гаммы составляютъ частью промежуточныя ступени между мажоромъ и миноромъ, частью же, какъ фригійскій церковный ладъ, онѣ также усиливаютъ характеръ минорнаго *тона*. Это разнообразіе исчезло и должно было быть замѣнено новыми вспомогательными средствами, а именно переложеніемъ гаммъ въ различные основные тоны и модуляціонными переходами изъ одного *тона* въ другой.

Это преобразованіе совершилось въ теченіи XVII столѣтія. Но развитіе гармонической музыки получило живѣйшій толчекъ начинающимся развитіемъ оперы, которое было возбуждено возобновленнымъ ознакомленіемъ съ классическою древностью, и было именно предпринято съ цѣлью возстановить снова древнюю трагедію, о которой знали, что она декламировалась музыкально. Задача, которая здѣсь непосредственно представлялась композитору, заключалась въ томъ, чтобы заставить исполнить одинъ или нѣсколько отдѣльныхъ голосовъ музыкальныя предложенія, которыя однако должны были быть гармонизированы для того, чтобы они могли входить въ полифонически обработанные хоры, въ которыхъ упомянутые голоса выдѣляются преимущественно предъ всѣми другими, а сопровождающіе должны были имъ совершенно подчиниться. Вслѣдствіе этого произошло сначала изобрѣтеніе речитатива Яковомъ Пери (Iacob Peri) и Каччини (Caccini) около 1600 г., и арій Клавдіемъ Монтеверде (Claudio Monteverde) и Віадана (Viadana). Новый взглядъ на гармонію проявляется въ нотописаніи тѣмъ, что у этихъ композиторовъ является цифровый басъ. Всякая цифровая басовая нота изображаетъ аккордъ и слѣдовательно ими обозначаются аккорды, а веденіе голосовъ въ этихъ аккордахъ остается предоставленнымъ

вкусу исполнителей. Слѣдовательно то что въ полифонической музыкѣ было дѣломъ второстепеннымъ, здѣсь было главнымъ и наоборотъ.

Опера также дѣлала необходимымъ изысканіе болѣе сильныхъ средствъ выраженія, чѣмъ тѣ, которыя допускала церковная музыка. У Монтеверде, который былъ чрезвычайно способенъ къ новымъ изобрѣтеніямъ, мы впервые находимъ свободно вставляемые септаккорды, за что онъ былъ такъ сильно порицаемъ своимъ современникомъ Артузи (Artusi). Вообще болѣе смѣлое употребленіе диссонансовъ, которые проявляются въ ихъ самостоятельномъ значеніи для достиженія болѣе рѣзкихъ оттѣнковъ выраженія, а не какъ случайныя явленія веденія голосовъ, развивается быстро.

Подъ этими вліяніями началось уже при Монтеверде преобразованіе и смѣшеніе дорійскаго, эолійскаго и фригійскаго церковныхъ ладовъ въ нашъ современный минорный *тонъ*; это преобразованіе совершилось въ теченіи XVII столѣтія, вслѣдствіе чего упомянутые лады сдѣлались болѣе податливы въ гармонизаціи къ господству тоники, какъ это мы впослѣдствіи докажемъ точнѣе.

Мы уже показали въ главныхъ чертахъ, какое эти измѣненія имѣютъ вліяніе на сущность системы тоновъ. Такъ какъ существовавшее до сихъ поръ средство для соединенія музыкальныхъ предложеній, именно повтореніе одинаковыхъ мелодическихъ фигуръ въ канонѣ, должно было исчезнуть всюду, гдѣ входило подчиненное мелодіи простое гармоническое сопровожденіе, то слѣдовало искать новаго средства художественной связи въ самомъ звукѣ аккорда и это получилось тѣмъ, что можно было гораздо опредѣленнѣе выдѣлить посредствомъ гармонизаціи отношенія тоновъ къ одной господствующей тоникѣ, чѣмъ было прежде, и во вторыхъ тѣмъ, что дали новую связь самимъ аккордамъ посредствомъ ихъ сродства между собою и къ тоническому аккорду. Въ послѣдующихъ нашихъ изслѣдованіяхъ мы увидимъ, что изъ этого принципа могутъ быть выведены отличительныя особенности современной системы тоновъ и что этотъ принципъ проведенъ въ нашей современной музыкѣ съ большою послѣдовательностью. Дѣйствительно, способъ, которымъ теперь приприспособлены тоны для художественнаго примѣненія, составляетъ уже самъ по себѣ удивительное произведеніе искусства, надъ которымъ трудились два съ половиною тысячелѣтія со времени Терпандера (Terpander) и Пиѳагора опытность, проницательность и художественный вкусъ европейскихъ народностей; но развитіе существенныхъ чертъ современной музыки едва началось въ практикѣ сочинителей 200 лѣтъ тому назадъ и новый принципъ пріобрѣлъ свое теоретическое выраженіе только отъ Рамо (Rameau) въ началѣ прошлаго

*

столѣтія. Въ историческомъ отношеніи это совершенно произведеніе новѣйшаго времени, принадлежащее только германскимъ, романскимъ, кельтическимъ и славянскимъ народностямъ.

Съ этою системою тоновъ, которая допускаетъ большое богатство формъ при вполнѣ замкнутой художественной послѣдовательности, сдѣлалось теперь возможнымъ создать художественныя произведенія гораздо большаго объема, болѣе богатыя въ формахъ и голосахъ, болѣе энергичныя въ выраженіи чѣмъ тѣ, которыя могло произвести любое предшествовавшее время и потому мы вовсе не склонны вступать въ пренія съ современными музыкантами, когда они принимаютъ эту систему за самую превосходную и преимущественно предъ всѣми другими системами, обращаютъ на нее свое вниманіе. Напротивъ, если мы беремся объяснить ея строеніе въ научномъ отношеніи и открыть ея послѣдовательность, то мы не должны забывать, что современная система развилась не изъ естественнаго хода вещей, а изъ свободно избраннаго принципа стиля, что рядомъ съ нею и до нея были развиваемы другія системы тоновъ, при чемъ въ каждой изъ нихъ были разрѣшены извѣстныя болѣе ограниченныя задачи искусства, чтобы ими достичь высшей степени художественной красоты.

Ссылка на исторію музыки въ настоящемъ отдѣлѣ нашего сочиненія становится необходимою потому, что здѣсь мы по большей части не можемъ пользоваться наблюденіемъ и опытомъ для подтвержденія представляемыхъ нами объясненій, такъ какъ, воспитанные на современной музыкѣ, мы не можемъ вполнѣ перенестись въ положеніе нашихъ предшественниковъ, которые всего этого не знали и должны были первоначально достигать того, что мы знаемъ съ нашей юности. Слѣдовательно отдѣльныя наблюденія и опыты, на которыхъ мы можемъ основываться суть тѣ, которые дало человѣчество въ ходѣ своего музыкальнаго развитія. Если наша теорія современной системы тоновъ вѣрна, она должна также дать объясненіе прежнимъ несовершеннымъ ступенямъ развитія.

Какъ основной принципъ развитія европейской системы тоновъ, мы представляемъ то, что в с я м а с с а т о н о в ъ и г а р м о н и ч е с к и х ъ с о е д и н е н і й д о л ж н а п р е д с т а в л я т ь т ѣ с н о е и в с е г д а я в с т в е н н о е с р о д с т в о с ъ п р о и з в о л ь н о и з б р а н н о ю т о н и к о ю и з ъ к о т о р о й р а з в и в а е т с я в с я м а с с а т о н о в ъ в с е г о с о ч и н е н і я и о п я т ь к ъ н е й в о з в р а щ а е т с я. Древній міръ развилъ этотъ принципъ въ гомофонической музыкѣ, современный въ гармонической. Но этотъ принципъ, какъ видно, эстетическій, а не естественный.

Мы не можемъ доказать его вѣрность à priori, а должны его доказать по вѣрности его слѣдствій. Происхожденіе такихъ эстетическихъ основныхъ принциповъ не слѣдуетъ также приписывать естественному ходу вещей; напротивъ, это произведеніе геніальной изобрѣтательности, какъ это мы передъ этимъ уже объяснили на архитектоническихъ видахъ стилей.

ГЛАВА XIV.

Тональность гомофонической музыки.

Музыка должна была сама художественно избрать и обработать матеріалъ, въ которомъ она воспроизводитъ свои произведенія. Пластическія искусства находятъ его подготовленнымъ главнымъ образомъ въ натурѣ, которой они стремятся подражать; краски и формы даны тамъ въ ихъ общихъ основныхъ чертахъ. Поэзія находитъ его вполнѣ подготовленнымъ въ словахъ. Правда, что архитектура должна также создавать себѣ свои формы; но онѣ отчасти обусловливаются техническими, а не чисто художественными взглядами. Одна музыка находитъ въ звукахъ человѣческаго голоса и музыкальныхъ инструментовъ безконечно богатый, совершенно безформенный и совершенно независимый матеріалъ, который слѣдуетъ обработать на чисто художественныхъ принципахъ, при чемъ соображенія о пользѣ какъ въ архитектурѣ, или подражаніе природѣ какъ въ живописи и скульптурѣ или же готовыя символическія значенія звуковъ, какъ въ поэзіи, не налагаютъ ей никакихъ предѣловъ. Въ музыкѣ господствуетъ большая и полнѣйшая свобода въ употребленіи матеріала, чѣмъ во всякомъ другомъ искусствѣ; но правильное употребленіе абсолютной свободы сдѣлать конечно труднѣе чѣмъ тамъ, гдѣ внѣшнія условія ограничиваютъ ширину пути на который слѣдуетъ вступить артисту. Вотъ почему, какъ это мы видѣли, развитіе звуковаго матеріала для музыки и совершалось гораздо медленнѣе, чѣмъ развитіе остальныхъ искусствъ.

Мы должны теперь заняться изслѣдованіемъ этого усовершенствованія звуковаго матеріала.

Первое попадающееся намъ условіе то, что въ музыкѣ всѣхъ народностей, на сколько мы ее знаемъ, измѣненіе высоты тона въ мелодіяхъ слѣдуетъ ступенями, а не непрерывнымъ переходомъ. Психологическое основаніе этого было повидимому тоже, которое побудило къ дѣленію повторяющихся отдѣловъ такта ритмиче-

ски. Всякая мелодія есть движеніе звука, переходящее въ мѣняющіеся высоты. Безтѣлесный звуковой матеріалъ гораздо болѣе способенъ слѣдовать во всякомъ родѣ движенія утонченнымъ и разнообразнѣйшимъ намѣреніямъ музыканта, чѣмъ какой бы то нибыло другой вещественный какъ бы легокъ онъ не былъ; игривая скорость, тяжелая медленность, спокойное передвиженіе, порывистые скачки, всѣ эти различные характеры и еще безчисленное множество другихъ, могутъ быть представлены въ разнообразныхъ оттѣнкахъ и комбинаціяхъ рядомъ тоновъ, и въ то время когда музыка выражаетъ эти роды движенія, она даетъ также выраженіе тѣхъ состояній нашего духа, которыя въ состояніи вызвать подобный же характеръ движенія, будутъ ли это движенія человѣческаго тѣла или голоса, или же еще субъективнѣе, движенія представленій въ сознаніи. Для насъ, всякое движеніе есть выраженіе силъ, которыми оно воспроизводится и мы можемъ инстиктивно судить о движущихъ силахъ, наблюдая воспроизводимое ими движеніе. Это примѣняется точно также и быть можетъ еще болѣе, къ движеніямъ, вызваннымъ проявленіемъ человѣческой воли и человѣческихъ страстей, чѣмъ къ механическимъ движеніямъ внѣшней природы. Такимъ образомъ мелодическое движеніе тоновъ можетъ сдѣлаться выраженіемъ различныхъ состояній человѣческаго духа, а не собственно чувствъ; въ этомъ отношеніи мы должны отдать справедливость Гансліку предъ всѣми другими эстетиками, потому что музыкѣ не достаетъ средства явственно обозначить предметъ чувства, если нѣтъ помощи въ поэзіи, но есть средство для выраженія настроенія духа, воспроизводимаго посредствомъ чувствъ. Слово настроеніе очевидно взято изъ музыки и перенесено на состоянія нашего духа; этимъ должны обозначаться именно тѣ особенности состояній души, которыя изобразимы музыкою, и я полагаю, что мы можемъ сдѣлать умѣстно такое опредѣленіе, что подъ словомъ настроеніе духа мы должны понимать общій характеръ, который временно носитъ на себѣ движеніе нашихъ представленій и который сообразно этому узнается также въ подобномъ же характерѣ движеній нашего тѣла и нашего голоса. Наши мысли могутъ двигаться быстро или медленно, онѣ могутъ блуждать безпокойно и безцѣльно въ боязливомъ возбужденіи, или преслѣдовать съ опредѣленностью и энергіею прочно установленную цѣль; онѣ могутъ увлекаться легко и безъ усилія пріятными фантазіями, или связанныя съ грустными воспоминаніями, онѣ движутся постепенно одна за другою медленно, тяжело и безсильно. Все это можетъ быть подражаемо и выражено мелодическимъ движеніемъ тоновъ и этимъ можетъ быть дана слушателю, который внимательно слѣдитъ за этимъ движеніемъ, болѣе полная и поразительная картина состо-

янія духа другаго субъекта, чѣмъ та, которая получается другимъ средствомъ, за исключеніемъ пожалуй получаемой весьма совершеннымъ драматическимъ подражаніемъ образа дѣйствія и рѣчи, изображаемаго индивидуума.

Впрочемъ, уже Аристотель понялъ подобнымъ же образомъ дѣйствіе музыки. Въ 29-й проблемѣ онъ спрашиваетъ: «почему къ настроеніямъ духа прилаживаются ритмы и мелодіи, которыя суть звуки, но не вкусъ, а также не краски и не благовонія? Не потому ли, что онѣ суть движенія, также какъ и поступки? Лежащая уже здѣсь энергія основывается на настроеніи и дѣлаетъ настроеніе; напротивъ вкусъ и краски этого не достигаютъ въ одинаковой степени». Кромѣ того въ концѣ 27-й проблемы онъ говоритъ: «эти движенія (именно ритма и мелодіи) энергичны, эти дѣйствія суть признаки настроенія духа».

Не только музыка, но также и другіе роды движенія могутъ воспроизвести подобныя же дѣйствія. Именно движеніе воды (будь оно въ водопадахъ или въ морскихъ волнахъ) представляетъ примѣръ впечатлѣнія, которое до нѣкоторой степени аналогично впечатлѣнію музыкальному. Какъ долго и какъ часто можно сидѣть на берегу и смотрѣть на движущіяся волны! Ихъ ритмическое движеніе, которое однако представляетъ въ отдѣльности непрерывную мѣну, производитъ особенное чувство благотворнаго успокоенія безъ скуки и даетъ впечатлѣніе могущественной, но опредѣленной и прекрасно составленной жизни. Если море покойно и зеркально, то можно любоваться нѣкоторое время его красками, но оно не доставляетъ столь продолжительной занимательности какъ въ то время, когда оно волнуется. Напротивъ малыя волны слѣдуютъ на малыхъ водяныхъ поверхностяхъ слишкомъ поспѣшно и болѣе безпокоятъ, чѣмъ поддерживаютъ вниманіе.

Но движеніе тоновъ, по утонченности и легкости, съ которыми оно можетъ воспринимать и подражать разнообразнымъ родамъ впечатлѣнія, превосходитъ всѣ движенія вещественныхъ массъ отъ чего на его долю приходится главнымъ образомъ изображеніе настроеній, которое другія искусства могутъ достичь только не прямымъ путемъ тѣмъ, что они изображаютъ причины, которыя вызвали настроеніе, или же слова, поступки и положенія тѣла, которыя вызваны настроеніемъ. Связь музыки съ словомъ, значительнѣе всего, потому что слово можетъ обозначать причину настроенія, объектъ къ которому оно относится и чувство, которое лежитъ въ его основаніи, тогда какъ музыка выражаетъ родъ душевнаго движенія, который связанъ съ чувствомъ. Если различные слушатели стараются опредѣлить впечатлѣніе инструментальной музыки, то бываетъ часто, что

они выражаютъ совершенно другія положенія или чувства, чѣмъ тѣ, которыя были изображены музыкою. При этомъ человѣкъ непосвященный въ музыку осмѣиваетъ подобныхъ энтузіастовъ, и однако всѣ они могутъ быть болѣе или менѣе правы, потому что музыка опредѣляетъ не чувства и положенія, а только настроенія, которыя однако слушатель можетъ выразить не иначе какъ опредѣленіемъ такихъ внѣшнихъ обстоятельствъ, при которыхъ у него наступаютъ подобнаго же рода настроенія; но различныя чувства при различныхъ обстоятельствахъ и у различныхъ индивидуумовъ могутъ воспроизвести одинаковыя настроенія. Любовь,-чувство. Какъ чувство она не можетъ быть непосредственно изображена музыкою. Настроенія влюбленнаго, какъ извѣстно, могутъ обнаруживать высшую степень измѣнчивости. Музыка можетъ выражать грёзы о безконечномъ блаженствѣ, которое можетъ быть вызвано любовью; но совершенно такое же настроеніе можетъ быть воспроизведено религіознымъ настроеніемъ. Слѣдовательно если музыкальное произведеніе выражаетъ это настроеніе, то нѣтъ никакого противорѣчія въ томъ, если одинъ слушатель находитъ въ этомъ стремленіе любви, а другой стремленіе набожнаго вдохновенія. Въ этомъ смыслѣ нѣсколько парадоксальный взглядъ Фишера (Vischer) не несправедливъ, когда онъ говоритъ, что механику душевныхъ движеній можно будетъ по всей вѣроятности изучать самымъ лучшимъ образомъ въ ея музыкальномъ воспроизведеніи. Дѣйствительно мы не имѣемъ другаго средства ихъ выражать такъ прямо и утонченно, какъ ихъ музыкальнымъ изображеніемъ.

Слѣдовательно мелодія должна, какъ мы видѣли, выражать движеніе, а именно такимъ образомъ, чтобы характеръ этого движенія обнаруживалъ себя непосредственному воспринятію слушателя легко, явственно и несомнѣнно. Это можетъ случиться только тогда, когда для непосредственнаго чувственнаго воспринятія совершенно точно измѣримы, ходъ этого движенія, его скорость и величина. Мелодическое движеніе есть измѣненіе высоты тона въ продолженіе извѣстнаго времени. Чтобы его вполнѣ измѣрить, должны быть соизмѣримы какъ продолжительность текущаго времени, такъ также и величина измѣненія въ высотѣ тона. То и другое можетъ для непосредственнаго наблюденія имѣть мѣсто только тогда, когда ходъ какъ во времени такъ и въ высотѣ тона происходитъ въ равномѣрныхъ и точно опредѣленныхъ ступеняхъ. Для времени это ясно непосредственно, потому что всякое наше измѣреніе времени, даже и научное, основано на ритмическомъ возвращеніи одинаковыхъ фактовъ, какъ-то вращеніи земли, луны, колебаніяхъ маятника. Точно также посредствомъ равномѣрной мѣны ударяемыхъ и неударяемыхъ звуковъ, мы

получаемъ въ музыкѣ и поэзіи ритмъ, присущій художественному произведенію; но въ то время какъ въ поэзіи строеніе риѳмъ служитъ только къ тому, чтобы ввести художественный порядокъ и во внѣшнія случайности выраженія языка, въ музыкѣ ритмъ какъ мѣра для времени принадлежитъ внутренней сути ея выраженія; поэтому то гораздо болѣе утонченная и резнообразная разработка музыкальнаго ритма и сдѣлалась необходимѣе поэтическаго.

Ходъ ступенями необходимъ также для измѣненія высоты тона, потому что вообще движеніе не можетъ быть измѣряемо иначе для наблюденія какъ въ томъ случаѣ, когда протяженіе измѣреннаго пространства подраздѣлено на ступени. Вѣдь и въ научныхъ изслѣдованіяхъ мы не можемъ также измѣрить скорости непрерывнаго движенія иначе, какъ измѣряя пройденное пространство единичною мѣрою, точно также какъ время,—секундными ударами.

Мнѣ могли бы возразить, что архитектура въ ея арабескахъ, которыя во многихъ отношеніяхъ и справедливо сравнивали съ музыкальными фигурами и которыя также заключаютъ въ себѣ нѣкоторое выраженіе опредѣленнаго движенія, архитектура нерѣдко употребляетъ непрерывныя кривыя линіи вмѣсто ступеневидныхъ ломаныхъ; но въ сущности искусство арабесокъ получило въ дѣйствительности свое начало отъ греческой мэандровой линіи, составленной изъ взаимно перпендикулярно сопоставленныхъ прямыхъ, которыя проходятъ другъ отъ друга въ точности на одинаковыхъ разстояніяхъ и спускаются въ видѣ ступеней. Во вторыхъ глазъ, разсматривающій арабески можетъ одновременно обозрѣть всѣ части волнообразной линіи и сравнить ихъ; онъ можетъ глядѣть туда и сюда и снова смотрѣть на прежде видѣнное; поэтому проведеніе линій, не смотря на ихъ непрерывное искривленіе, остается вполнѣ обозримымъ и болѣе строгая правильность узоровъ греческихъ арабесокъ могла быть успѣшно покинута для свободы этой отрасли искусства.

Но въ то время какъ въ архитектурѣ допускаются болѣе свободныя формы отдѣльныхъ малыхъ орнаментовъ, для общаго расположенія большаго цѣлаго во всей постройкѣ,—будь это ряда арабесокъ, или ряда оконъ, колоннъ и т. п. постоянно удерживается все таки простой ариѳметическій законъ повторенія ступенями одинаковыхъ частей въ одинаковыхъ разстояніяхъ.

Отдѣльныя части мелодіи достигаютъ наше ухо другъ за другомъ; мы не можемъ всѣхъ ихъ воспринимать одновременно; мы не можемъ по произволу услышать, что уже было или будетъ слѣдовать въ мелодіи; слѣдовательно для яснаго и вѣрнаго измѣренія мѣны высоты тона, не остается никакого другаго средства, какъ ходъ въ точно опредѣленныхъ ступеняхъ. Такой рядъ ступеней и предписанъ въ му-

зыкальной гаммѣ. Если завываетъ вѣтеръ и его высота тона въ постоянныхъ переходахъ, мало по малу и безъ промежутковъ, то повышается, то понижается, то этимъ измѣненіемъ высоты тона недостаетъ никакой мѣры, посредствомъ которой можно было бы сравнить послѣдующіе звуки съ предшествовавшими и обнять величину измѣненія. Цѣлое производитъ смѣшанное и непріятное впечатлѣніе. Музыкальная гамма составляетъ раздѣленный на части масштабъ, коимъ мы измѣряемъ высоту тона, точно также какъ ритмомъ время. Поэтому аналогія между гаммою и ритмомъ всегда поражала какъ древнихъ музыкальныхъ теоретиковъ, такъ и новѣйшихъ.

И такъ, съ древнѣйшаго до новѣйшаго времени и у всѣхъ націй занимающихся музыкою мы находимъ ту общность, что изъ безконечно многихъ безпрерывно переходящихъ другъ въ друга степеней высоты тона, которыя возможны и которыя могутъ быть воспринимаемы ухомъ, выдѣляются извѣстныя опредѣленныя ступени, составляющія гамму, въ которой движется мелодія. Что же касается выбора ступеней то это вопросъ, при разрѣшеніи котораго дѣлаются видимыми уклоненія національнаго вкуса, такъ какъ число гаммъ, которыя употребляются у различныхъ народовъ и въ различныя времена, довольно велико.

И такъ спросимъ, какое можетъ быть основаніе, при исходѣ отъ нѣкотораго начальнаго тона, предпочитать интервалъ къ какому то ни было другому опредѣленному тону, интерваламъ къ его сосѣднимъ тонамъ? При этомъ мы припоминаемъ, что нами уже было замѣчено подобное же отношеніе при звуковомъ сочетаніи двухъ тоновъ. Тамъ оказалось, что извѣстные особенные интервалы, именно консонансы, отличались отъ всѣхъ хотя бы не много отъ нихъ отличныхъ интерваловъ, отсутствіемъ дрожаній. Нѣкоторые изъ этихъ интерваловъ, октаву, квинту и кварту, мы также находимъ во всѣхъ извѣстныхъ гаммахъ. Поэтому новѣйшіе теоретики воспитанные на системѣ гармонической музыки, полагали возможнымъ объяснить происхожденіе гаммъ предположеніемъ, что всякая мелодія образуется изъ воображаемой гармоніи и что гамма, какъ главная мелодія *тона*, произошла посредствомъ развертыванія основныхъ аккордовъ *тона* на ихъ отдѣльные тоны. Конечно для современныхъ гаммъ этотъ взглядъ вѣренъ; по крайней мѣрѣ, онѣ были измѣнены по требованіямъ гармоніи; по исторіи же, гаммы появились гораздо ранѣе того, какъ имѣлись какіе бы то ни было опыты относительно гармоніи. Если прослѣдить въ исторіи музыки какое значительное время было нужно европейскимъ музыкантамъ, чтобы научиться гармонически сопровождать мелодію и какими выходили неудачными первые опыты, то не можетъ быть никакого сомнѣнія, что у древнихъ композиторовъ

гомофонической музыки совершенно не существовало чувство гармоническаго сопровожденія, точно также какъ и теперь еще многіе изъ болѣе одаренныхъ жителей востока противятся нашей гармонической музыкѣ. Слѣдуетъ еще замѣтить то, что многія народныя мелодіи частью болѣе древнія, частью чужестраннаго происхожденія, едва допускаютъ гармоническое сопровожденіе, которое бы не нарушало ихъ характеръ.

Тоже самое относится, по предположенію Рамо, къ подразумѣваемому основному басу при построеніи одноголосной мелодіи или гаммы. Конечно новѣйшій композиторъ по большей части тотчасъ же себѣ представитъ основной басъ той мелодіи, которую онъ сочиняетъ. Но какъ могутъ это сдѣлать музыканты, которые никогда еще не слышали гармонической музыки и не имѣютъ понятія о ея построеніи? Очевидно что здѣсь ожидается слишкомъ много даже и отъ генія, дѣйствительно предугадывающаго безсознательно многія вещи, когда предполагаютъ, что онъ долженъ принимать во вниманіе отношенія тоновъ, которыя онъ или никогда, или же по крайней мѣрѣ только рѣдко слышалъ и открытіе и примѣненіе которыхъ было только удѣломъ отдаленнаго будущаго.

Однако хотя и ясно, что въ періодѣ чисто гомофонической музыки, гамма не могла быть построена по требованіямъ безсознательно воображаемыхъ для этого соединеній аккордовъ, тѣмъ не менѣе упомянутый взглядъ и гипотеза музыкантовъ въ нѣсколько измѣненномъ видѣ могутъ имѣть смыслъ, если мы именно предположимъ, что тѣже физическія и физіологическія отношенія звуковъ, которыя обнаруживаются при звуковыхъ сочетаніяхъ и опредѣляютъ величину консонирующихъ интерваловъ, могутъ имѣть также вліяніе на построеніе гаммъ, хотя и при измѣненныхъ условіяхъ.

Начнемъ съ октавы, коей отношеніе къ основному тону наиболѣе поразительно. Пусть какая нибудь мелодія будетъ исполнена любымъ звуковымъ орудіемъ, имѣющимъ хорошій оттѣнокъ, хоть напр. человѣческимъ голосомъ; тогда слушатель услышитъ кромѣ основныхъ тоновъ звуковъ также ихъ высшія октавы и болѣе слабо, остальные верхніе тоны. Если теперь высшій голосъ исполнитъ затѣмъ туже мелодію въ высшей октавѣ, то мы услышимъ снова часть того, что мы только что слышали, именно четные частные тоны прежнихъ звуковъ и при этомъ мы не услышимъ ничего новаго, чего бы мы уже не слышали прежде. Поэтому повтореніе мелодіи въ высшей октавѣ есть дѣйствительное повтореніе уже слышаннаго, хотя и не всего, но все же части. Если мы будемъ сопровождать низкій голосъ высшимъ въ октавѣ, что было единственною многоголосною музыкою, употреблявшеюся Греками, то мы ничего не прибавимъ къ низшему,

а только усилимъ его четные частные тоны. Слѣдовательно въ этомъ смыслѣ звуки высшихъ октавъ, суть дѣйствительныя повторенія звуковъ низшихъ, по крайней же мѣрѣ ихъ составной части; поэтому первое и главное дѣленіе нашей музыкальной скалы есть дѣленіе на рядъ октавъ; одноименные же тоны различныхъ октавъ мы разсматриваемъ относительно мелодіи и гармоніи какъ равнозначущіе, что до нѣкотораго предѣла и въ приведенномъ смыслѣ справедливо. Сопровожденіе въ октавѣ даетъ совершенный консонансъ, но оно не даетъ ничего новаго, а только усиленіе уже существующихъ тоновъ; поэтому такое музыкальное сопровожденіе примѣнимо для усиленія долженствующей выдѣляться съ силою мелодіи, но ему не достаетъ разнообразія полифонической музыки и поэтому оно кажется однотоннымъ и запрещено тамъ, гдѣ музыка должна быть полифоническою.

Что относится къ октавѣ, относится также въ меньшей степени и къ дуодецимѣ. Если мелодія повторяется въ дуодецимѣ, то слышанное, услышится также снова только съ тою разницею, что повторяемая составная часть слышаннаго, гораздо слабѣе, потому что воспроизводятся снова только третій, шестой, девятый и т. д. частные тоны, тогда какъ при повтореніи въ октавѣ вмѣсто третьяго входятъ сильнѣйшіе второй и четвертый, а вмѣсто девятаго—восьмой и десятый и т. д. Слѣдовательно повтореніе мелодіи въ дуодецимѣ менѣе совершенно, чѣмъ въ октавѣ, потому что повторяется только малая часть слышаннаго. Вмѣсто него можетъ быть также повтореніе ниже октавы, т. е. въ квинтѣ. Повтореніе въ квинтѣ не есть чистое повтореніе какъ это при повтореніи въ дуодецимѣ. Если число колебаній основнаго тона 2, то частные тоны:

основнаго звука	2	4	6	8	10	12
дуодецимы			6			12
квинты		3	6	9		12

Если мы издаемъ дуодециму, то мы повторяемъ тоны 6 и 12, которые уже были въ основномъ звукѣ. Если мы издаемъ квинту, то хотя мы также и повторяемъ тѣже тоны, но мы присоединяемъ еще и другіе, именно 3 и 9. Слѣдовательно при повтореніи въ квинтѣ, только часть новаго тожественна съ частью прежде слышаннаго; однако же это всего болѣе совершенное повтореніе, которое мы можемъ сдѣлать при интервалѣ меньшемъ октавы. Отъ этого происходитъ очевидно то, что когда неопытные пѣвцы желаютъ пѣть съ другими въ хорѣ напѣвъ, который неподходитъ къ ихъ голосу, то ихъ нерѣдко слышатъ совмѣстно поющими въ квинтахъ въ чемъ весьма ясно высказывается то, что повтореніе въ квинтѣ кажется естественнымъ по-

втореніемъ и непривычному уху. Совмѣстное пѣніе въ квинтѣ и квартѣ было систематически развито въ началѣ среднихъ вѣковъ. Однако повтореніе въ квинтѣ, вмѣстѣ съ повтореніемъ въ октавѣ, играетъ первостепенную роль и въ новѣйшей музыкѣ. Извѣстно, что въ нормальныхъ фугахъ тема прежде всего повторяется въ квинтѣ; въ нормальной формѣ инструментальныхъ композицій, въ сонатѣ, тема перваго реприза переходитъ въ квинту, чтобы во второй части возвратиться снова въ основной тонъ. Этотъ родъ несовершеннаго повторенія впечатлѣнія въ квинтѣ далъ поводъ Грекамъ раздѣлить протяженіе октавы на двѣ равнозначущія части, именно на два тетрахорда. Наша мажорная гамма, подраздѣленная на этомъ основаніи была бы

c d e f g a h c d e f
I II III

Послѣдовательность тоновъ втораго тетрахорда, есть повтореніе послѣдовательности тоновъ перваго, переложеннаго на квинту. Для того чтобы подойти къ дѣленію на октавы, тетрахорды должны быть поперемѣнно отдѣлены и соединены другъ съ другомъ по порядку. Ихъ называютъ соединенными, если, какъ это между II и III, тонъ *c* нижняго, есть также первый тонъ верхняго; напротивъ, если послѣдній тонъ нижняго тетрахорда, какъ это въ I и II тетрахордахъ, отличенъ отъ перваго тона верхняго, то они отдѣленные. Во второмъ тетрахордѣ, *g—c*, всякій восходящій рядъ тоновъ долженъ былъ окончательно вести къ *c* какъ къ заключительному тону, который составляетъ также одновременно октаву основнаго тона перваго тетрахорда. Это *c* составляетъ кварту *g* основнаго тона втораго тетрахорда. Если въ обоихъ тетрахордахъ, послѣдовательность тоновъ должна была бы быть сдѣлана одинаковою, то въ нижнемъ тетрахордѣ долженъ быть прежде всего прибавленъ отвѣчающій тону *c* тонъ *f*. Впрочемъ кварта также обнаружилась бы такимъ же образомъ какъ и квинта независимо отъ этой аналогіи тетрахордовъ. Квинта—звукъ, коего второй частный тонъ равенъ третьему частному тону основнаго тона; кварта звукъ, коего третій частный тонъ равенъ второму частному тону октавы. Слѣдовательно такимъ образомъ опредѣлены предѣльные тоны обоихъ аналогичныхъ отдѣловъ октавы, а именно:

c — f, g — c,

однако пополненіе промежутковъ этихъ отдѣловъ остается пока произвольнымъ и даже было совершено самими Греками различно въ различные періоды и иначе чѣмъ другими древними народами, тогда

какъ дѣленіе скалы на октавы и дѣленіе октавы на два аналогичныхъ тетрахорда встрѣчаются почти безъ исключенія.

Боэцій (Boethius de Musica Lib. I. cap. 20) повѣствуетъ по Никомаху (Nicomachus), что древнѣйшая настройка лиры до временъ Орфея была въ упомянутыхъ непополненныхъ тетрахордахъ:

c — f — g — c,

съ которыми конечно едва было бы возможно составить мелодію. Однако въ этихъ тонахъ конечно заключаются главныя ступени повышенія и пониженія тоновъ обыкновеннаго разговора, такъ что такую лиру было бы возможно употреблять для сопровожденія декламаціи.

Сродство съ основнымъ тономъ квинты и получаемой отъ ея обращенія кварты такъ велико, что онѣ встрѣчаются во всѣхъ извѣстныхъ музыкальныхъ системахъ всѣхъ народовъ. Напротивъ, относительно промежуточныхъ тоновъ, вставляемыхъ между предѣльными тонами тетрахорда, произошли разногласія. Интервалъ терціи уже не такъ явственно ограниченъ легко воспринимаемыми верхними тонами, чтобы съ перваго же раза опредѣленно обозначиться слуху непривычнаго музыканта. Мы должны принять во вниманіе, что если въ звукѣ употребляемаго инструмента содержался еще даже и пятый частный тонъ, то онъ вообще имѣлъ бы возлѣ себя не только сильный основной тонъ, но и сильнѣйшіе три верхнихъ тона, которыми онъ бы и покрывался. Дѣйствительно въ исторіи музыкальной системы обнаруживается продолжительное колебаніе относительно настройки терцій; это такое колебаніе, которое чувствуется еще и теперь, если бы старались настраивать терціи въ вѣрной мелодической послѣдовательности, нисколько не стараясь соединять ихъ съ гармоніею. Я самъ долженъ сознаться, что при изолированныхъ такого рода интервалахъ, не могу придти къ несомнѣнному результату, но достигаю его, когда ихъ слышу въ удачно составленной мелодіи съ явственною тональностью. Тогда натуральныя терціи 4 : 5 мнѣ кажутся болѣе покойными интервалами въ сравненіи съ немного большими терціями, которыя даетъ равномѣрная темперація нашихъ современныхъ инструментовъ, или съ еще большими получаемыми пиѳагоровою настройкою по вѣрнымъ квинтамъ; послѣднія же мнѣ казались въ качествѣ болѣе напряженно звучащихъ интерваловъ. Наши современные музыканты, которые привыкли къ терціямъ равномѣрной темпераціи предпочитаютъ отчасти послѣднія, если дѣло идетъ только о мелодическомъ слѣдованіи; однако я убѣдился, что первоклассные артисты, каковъ г. Іоахимъ (Joachim) употребляютъ также и въ мелодіи терціи 4 : 5. Для гармоніи не можетъ быть никакого сомнѣнія, что всякій отдастъ преимущество послѣдней терціи. Въ шестнадцатой

главѣ будетъ описанъ инструментъ, помощью котораго могутъ быть произведены такіе опыты.

При такихъ условіяхъ дѣленія скалы въ первобытной музыкѣ и, какъ кажется, еще и теперь, у менѣе образованныхъ народовъ, былъ принятъ для дѣленія малыхъ интерваловъ другой принципъ, который однако же долженъ былъ впослѣдствіи уступить принципу звуковаго сродства. Я подразумѣваю здѣсь попытку различать промежуточныя ступени одинаковой величины по слуху такъ, чтобы воспринимаемыя различія высотъ тоновъ выходили одинаковой величины.

Конечно подобная попытка для раздѣленія кварты никогда продолжительно не удерживается противъ чувства сродства интерваловъ, по крайней мѣрѣ не удерживается въ художественно развитой музыкѣ; но для подраздѣленія меньшихъ интерваловъ, мы найдемъ этотъ принципъ дѣленія, примѣненнымъ какъ вспомогательное средство, во многихъ мѣстахъ менѣе употребительныхъ греческихъ дѣленіяхъ на тетрахорды и въ скалахъ восточныхъ народовъ. Однако эти произвольныя дѣленія, которыя не основываются на сродствѣ звуковъ, всюду исчезли въ той же степени, въ какой музыка, какъ искусство развилась до чистой красоты.

Мы желаемъ приблизительно видѣть какую мы получимъ гамму, если прослѣдимъ за натуральнымъ сродствомъ звуковъ другъ къ другу далѣе. Сродными въ первой степени мы называемъ звуки, которые имѣютъ два одинаковыхъ частныхъ тона; сродными во второй степени мы называемъ такіе, которые сродны съ однимъ и тѣмъ же третьимъ звукомъ въ первой степени. Чѣмъ сильнѣе оба согласующіеся частные тона въ отношеніи къ остальнымъ частнымъ тонамъ двухъ сродныхъ звуковъ въ первой степени, тѣмъ сродство сильнѣе и тѣмъ пѣвцы и слушатели будутъ легче чувствовать общность обоихъ звуковъ. Однако изъ этого далѣе также слѣдуетъ, что чувство сродства тоновъ должно быть различно, смотря по оттѣнкамъ звука, и я полагаю, что это можно дѣйствительно предположить, такъ какъ нѣчто подобное существуетъ и для простыхъ мелодій на флейтѣ и мягкихъ регистрахъ органа, гдѣ гармоническія звуковыя сочетанія, вслѣдствіе недостатка верхнихъ тоновъ и недостаточно различаемыхъ диссонансовъ, звучатъ безхарактерно. Это происходитъ, какъ я полагаю, отъ того, что въ упомянутыхъ оттѣнкахъ звука натуральные интервалы терцій и секстъ, а можетъ быть и интервалы квартъ и квинтъ не имѣютъ непосредственнаго оправданія въ ощущеніи слушателя, но много что въ воспоминаніи. Если слушатель знаетъ, что на другихъ инструментахъ и въ пѣніи терціи и сексты выступили въ видѣ натурально и непосредственно сродныхъ звуковъ, то если они будутъ воспроизведены флейтою или мягкимъ органнымъ регистромъ, онъ ихъ также приметъ за извѣстные уже ему интервалы. Однако впечатлѣніе сохраненное въ воспоминаніи не можетъ имѣть туже свѣжесть и силу, какъ таковое же, при непосредственномъ ощущеніи.

Такъ какъ сила сродства зависитъ отъ силы одинаковыхъ верхнихъ тоновъ и такъ какъ верхніе тоны бо̀льшаго числа по порядку обыкновенно бываютъ слабѣе верхнихъ тоновъ меньшаго числа по порядку, то вообще сродство двухъ звуковъ тѣмъ слабѣе, чѣмъ больше числа по порядку совпадающихъ верхнихъ тоновъ. Но эти числа по порядку, какъ читатель можетъ припомнить изъ ученія о консонирующихъ интервалахъ, обозначаютъ также отношеніе чиселъ колебаній для соотвѣтствующихъ обѣихъ нотъ.

Я прилагаю здѣсь таблицу, которая заключаетъ въ верхнемъ горизонтальномъ рядѣ числа по порядку для частныхъ тоновъ тоники *c*, а въ первомъ вертикальномъ рядѣ тѣже числа по порядку для соотвѣтствующихъ тоновъ гаммы. Гдѣ соотвѣтствующіе вертикальный и горизонтальный ряды между собою пересѣкаются, обозначенъ соотвѣтствующій тонъ гаммы, къ которому относится это пересѣченіе. Однако во вниманіе приняты только тѣ ноты, которыя удалены отъ тоники менѣе, чѣмъ на одну октаву. Подъ каждою ступенью помѣщены оба числа по порядку, совпадающихъ верхнихъ тоновъ, чтобы ими выражалась мѣра силы сродства.

	Частные тоны тоники.					
	1	2	3	4	5	6
1	*c* 1.1	*c'* 1.2				
2	*C* 2.1	*c* 2.2	*g* 2.3	*c'* 2.4		
3		*F* 3.2	*c* 3.3	*f* 3.4	*a* 3.5	*c'* 3.6
4		*C* 4.2	*G* 4.3	*c* 4.4	*e* 4.5	*g* 4.6
5			*Es* 5.3	*As* 5.4	*c* 5.5	*es* 5.6
6			*C* 6.3	*F* 6.4	*A* 6.5	*c* 6.6

Въ этомъ систематическомъ сопоставленіи, мы находимъ въ октавѣ лежащей выше основнаго тона *c* слѣдующій рядъ звуковъ, которые сродны въ первой степени съ тоникою *c* и будучи распредѣлены по порядку ихъ сродства дадутъ слѣдующій рядъ:

c	*c'*	*g'*	*f'*	*a'*	*e'*	*es*
1:1	1:2	2:3	3:4	3:5	4:5	5:6.

Напротивъ въ нисходящей октавѣ, получится слѣдующій рядъ:

c	*C*	*F*	*G*	*Es*	*As*	*A*
1:1	2:1	3:2	4:3	5:3	5:4	6:5.

Основаніе къ прекращенію ряда, мы находимъ въ слишкомъ большомъ сближеніи образующихся интерваловъ. Эти интервалы не должны быть такъ малы, чтобы быть съ затрудненіемъ улавливаемыми и различаемыми. Какой изъ интерваловъ въ скалѣ, мы должны допустить какъ самый тѣсный, это вопросъ, который различныя націи, смотря по ихъ различному направленію вкуса, а можетъ быть и по различной утонченности ихъ слуха, рѣшили различно.

Кажется, что въ первыхъ періодахъ развитія музыки, многіе народы не пользовались болѣе тѣсными интервалами, чѣмъ цѣлый тонъ и поэтому составили скалы, въ которыхъ отстоянія интервала цѣлаго тона попеременно мѣнялись съ отстояніями въ полтора тона. Въ тѣхъ примѣрахъ, которые собралъ г. Фетисъ *) такая скала находится не только у Китайцевъ, но и у остальныхъ видовъ монгольской расы; далѣе у Малайцевъ острововъ Явы и Суматры, у жителей Гудзоновой земли, у Папуасовъ Новой Гвинеи, у жителей Новой Каледоніи и у нѣкоторыхъ мѣстныхъ жителей Индостана. Пятиструнная лира (киссаръ) жителей Сѣверной Африки и Абиссиніи, которая находится уже изображенною какъ инструментъ плѣнниковъ на барельефахъ ассирійскихъ царскихъ дворцовъ, имѣетъ также по указанію Виллото (Villoteau) **) строй пятитонной скалы:

$$g - a - h - d - e.$$

Слѣды такого же рода древней скалы находятся и въ сходной явно по названію китарѣ Грековъ. По крайней мѣрѣ Терпандеръ (Terpander), который игралъ выдающуюся роль въ развитіи древней греческой музыки и который присоединилъ къ существовавшей уже до него шестиструнной китарѣ, седьмую струну, употреблялъ скалу

*) Histoire générale de la Musique. Paris 1869. T. I.

**) Description des Instruments de Musique des Orientaux; chapt. XIII. въ Description de l'Egypte. Etat moderne.

сложенную изъ одного тетрахорда и одного трихорда, имѣвшую объемъ одной октавы и коей строй былъ слѣдующій:

$$e \smile f - g - a - h \smile - d' - e' \text{ *)}$$

Здѣсь недостаетъ тона *c'* и верхній тетрахордъ остается безъ интервала полутона, тогда какъ нижній его имѣетъ.

Также и то обстоятельство, что Олимпосъ (Olympos), который ввелъ въ Греціи азіятскую флейтовую игру и примѣнилъ ее къ греческому вкусу, измѣнилъ дорійскую скалу Грековъ въ пятитонную, древнюю энгармоническую

$$h \smile c - - e \smile f - - a$$

кажется указываетъ на то, что онъ перенесъ съ собою изъ Азіи пятитонную скалу и только позаимствовалъ отъ греческой скалы примѣненіе полутона. Между болѣе цивилизованными народами, только Китайцы и Валлійцы Шотландіи и Ирландіи удержали твердо до сихъ поръ пятитонную скалу безъ полутоновъ, хотя тѣ и другіе вмѣстѣ съ тѣмъ и ознакомились съ полною семитонною гаммою.

Говорятъ, что у Китайцевъ нѣкій принцъ Цай-ю (Tsay-yu), не смотря на сильное противодѣйствіе консервативныхъ, музыкантовъ, ввелъ семитонную гамму, а также дѣленіе октавы на 12 полутоновъ; транспозиція гаммъ была также найдена этимъ умнымъ и искуснымъ народомъ; однако же мелодіи, записанныя путешественниками принадлежатъ по большей части къ пятитонной скалѣ. Шотландцы и Ирландцы ознакомились также съ діатоническою семитонною гаммою чрезъ церковное пѣніе и въ современной формѣ ихъ народныхъ мелодій мы находимъ также оба недостающіе тона, по крайней мѣрѣ введенные между прочимъ въ видѣ форшлаговъ и проходящихъ нотъ. Однако во многихъ случаяхъ это уже современныя улучшенія, какъ это и доказывается сравненіемъ съ болѣе древними формами мелодіи; однако можно вообще выпускать ноты чуждыя пятитонной скалѣ, безъ существеннаго измѣненія мелодіи. Это относится не только къ древнимъ мелодіямъ, но также и къ такимъ, которыя, какъ это можно доказать, были сочинены только въ обоихъ послѣднихъ столѣтіяхъ учеными и неучеными музыкантами, и которыя затѣмъ вошли въ народную среду. Слѣдовательно Валлійцы, равно какъ и

*) У Никомаха (Edit. Meibomii p. 17) Филолей говоритъ: «Отъ Гипата (*e*) къ Медіэ (*a*) была кварта, отъ Медіэ къ Нете (*e'*) квинта, отъ Нете къ Трите (*h*) кварта, отъ Трите къ Гипату квинта». Отсюда слѣдуетъ что недоставало не *h*, а *c*.

*

Китайцы удерживаютъ свою древнюю скалу *) не смотря на знаніе современной системы тоновъ и нельзя отрицать того, что шотландскія мелодіи, вслѣдствіе уклоненія отъ малыхъ интерваловъ полутоновъ діатонической скалы, получаютъ нѣчто особенно ясное и подвижное, чѣмъ конечно китайскія мелодіи не отличаются. Ограниченное число тоновъ въ предѣлахъ октавы уравнивается тѣмъ, что какъ у Валлійцевъ, такъ и у Китайцевъ пользуются большимъ объемомъ голоса.

Пятитонная скала допускаетъ еще нѣкоторое разнообразіе ея составленія. Если мы примемъ тонъ *c* за тонику и присовокупимъ къ нему ближайшіе сродные тоны восходящей октавы пока не встрѣтимъ полутона, то получимъ:

$$c - c' - g - f - a.$$

Слѣдующій тонъ *e* уже составляетъ съ *f* полутонъ. Въ нисходящей октавѣ мы точно также получаемъ:

$$c - C - F - G - Es.$$

Остающіеся въ этихъ скалахъ большіе промежутки, въ первой между *c* и *f*, во второй между *G* и *c* пополняются ближайшими сродными во второй степени тонами. Такъ какъ сродные тоны октавы постоянно даютъ снова однѣ и тѣже ступени, которыя мы уже получили въ видѣ непосредственно сродныхъ тоникѣ, то прежде всего принимаются во вниманіе сродные съ верхнею квинтою *g* и съ нижнею квинтою *F*, а именно верхняя квинта *d* верхней квинты *g* и нижняя квинта *B* нижней квинты *F*. Такимъ образомъ мы получаемъ слѣдующія скалы:

1) восходя:

$$c - d - \smile f - g - a - \smile c$$
$$1 \quad \tfrac{9}{8} \quad \tfrac{4}{3} \quad \tfrac{3}{2} \quad \tfrac{5}{3} \quad 2$$

2) нисходя:

$$C - \smile Es - F - G - \smile B - c$$
$$1 \quad \tfrac{6}{5} \quad \tfrac{4}{3} \quad \tfrac{3}{2} \quad \tfrac{16}{9} \quad 2.$$

Однако оба тона могутъ быть также одновременно введены вмѣсто слабѣе сродныхъ тоновъ первой степени, что намъ дало бы тогда рядъ, произведенный только сродствомъ квинтъ:

$$3)\ c - d - \smile f - g - \smile b - c'$$
$$1 \quad \tfrac{9}{8} \quad \tfrac{4}{3} \quad \tfrac{3}{2} \quad \tfrac{16}{9} \quad 2.$$

*) Китайскія мелодіи встрѣчаются въ исторіи музыки Амброза т. I, стр. 30, 34, 35. Богатое собраніе шотландскихъ мелодій съ указаніемъ источниковъ и древнихъ формъ находится у G. T. Graham's Songs of Scotland, 3. Vol. Edinburg 1859 г. Приложенное современное фортепіанное сопровожденіе неудовлетворительно подходитъ къ характеру мелодій.

Но затѣмъ встрѣчаются также нѣсколько болѣе неправильныя составленія этихъ пятитонныхъ гаммъ, въ которыхъ вмѣсто тона *f*, болѣе тѣсно сроднаго къ тоникѣ *c* входитъ не много болѣе отдаленно сродная большая терція *e*, преобразованіе, которое вошло, быть можетъ во многія шотландскія мелодіи, подъ вліяніемъ современнаго предпочтенія мажорнаго *тона*. Это даетъ гамму:

$$4)\ c - d - e - \smile g - a - \smile c'$$
$$1 \quad \tfrac{\;}{8} \quad \tfrac{5}{4} \quad \tfrac{3}{2} \quad \tfrac{5}{3} \quad 2.$$

Примѣры для подобной замѣны квинты *g* малою секстою *as* сомнительны; это бы давало слѣдующую гамму:

$$5)\ C - \smile Es - F - \smile As - B - c$$
$$1 \quad \tfrac{6}{5} \quad \tfrac{4}{3} \quad \tfrac{8}{5} \quad \tfrac{16}{9} \quad 2.$$

Гамма:

$$c - \smile es - f - g - a - \smile c$$
$$1 \quad \tfrac{6}{5} \quad \tfrac{4}{3} \quad \tfrac{3}{2} \quad \tfrac{5}{3} \quad 2$$

при которой пользуются только тонами сродными въ первой степени, но въ которой начиная отъ тоники можно только слѣдовать въ обѣ стороны большими интервалами, я не находилъ примѣненными нигдѣ.

Приведенныя нами пять формъ пятитонной гаммы могутъ быть всѣ такъ транспонированы, что ихъ можно играть на верхнихъ (черныхъ) клавишахъ фортепіано, не трогая нижнихъ. Извѣстно, что это предписываютъ какъ простое правило, по которому можно было бы сочинять шотландскія мелодіи. При этомъ однако можно пользоваться каждою изъ пяти верхнихъ клавишъ какъ тоникою; только *B* не имѣющій на верхнихъ клавишахъ квинты оправдываетъ значеніе тоники сомнительно.

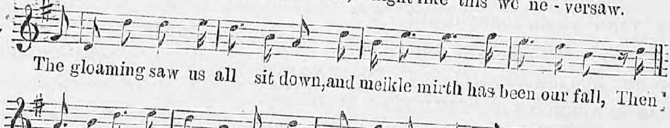
Я прилагаю здѣсь примѣры этихъ различныхъ пятитонныхъ скалъ.

1) Къ первой гаммѣ безъ терціи и септимы относится китайская. Примѣромъ можетъ послужить китайская мелодія по Джону Барроу (John Barrow):

2) Ко второй гаммѣ безъ секунды и сексты относится большинство шотландскихъ напѣвовъ, имѣющихъ характеръ минорнаго *тона*; однако въ современныхъ формахъ этихъ напѣвовъ является большею частью между прочимъ тотъ или другой изъ недостающихъ тоновъ. Здѣсь слѣдуетъ болѣе старинная форма мелодіи «Cockle Schell's» *).

3) Къ третьей гаммѣ безъ терціи и сексты относится валлійская мелодія, вѣроятно старинная пѣвшаяся съ волынкою: *)

Blythe, blythe and merry are we, blythe are we one andall.
Can-ty days we've of-fen seen; a night like this we ne - versaw.



let thetoast and sang go round,tillchan-ti cleer be-gins to craw. *D. C. al Segno.*

4) Къ четвертой гаммѣ принадлежитъ большинство шотландскихъ мелодій, носящихъ характеръ мажорнаго *тона*; въ нихъ недостаетъ кварты и септимы мажорной гаммы. Такъ какъ такого рода шотландскія мелодіи встрѣчаются во множествѣ въ каждомъ собраніи подобныхъ мелодій и вообще извѣстны, то я даю здѣсь, какъ при-

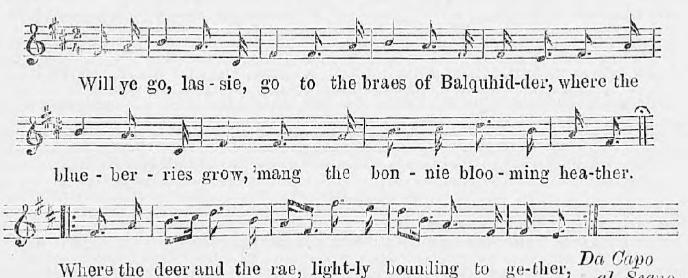
---

*) Playford's Dancing master, Edition 1721. Первое изданіе этого сочиненія появилось въ 1657 г.—Songs of Scotland Vol. III. p. 170.

**) Такого же рода китайская пѣснь встрѣчается у Амброза l. c. Bd. I, S. 34, а именно вторая. Другая пѣснь съ однократнымъ ударенiемъ сексты находится въ Songs of Scotland Vol. III, p. 10 «My Peggy is a young thing.»

мѣръ, древній китайскій храмовый гимнъ по Битчурину (Bitschurin) *).

5) Мелодій, принадлежащихъ вполнѣ чисто къ 5-й гаммѣ безъ секунды и квинты, я не находилъ; однако существуютъ такія, въ которыхъ пользуются совершенно слегка квинтою или же обоими интервалами. Въ послѣднемъ случаѣ входитъ малая секунда, отчего образуется характеръ фригійскаго церковнаго *тона*, напр. въ очень хорошей пѣснѣ, «Auld Robin.» Я даю здѣсь примѣръ съ тоникою *fis*, въ которомъ совершенно нѣтъ секунды и въ которомъ только два раза слегка пользуются квинтою *cis*, такъ что ее можно вполнѣ пропустить безъ нарушенія мелодіи.



Правда что въ этомъ примѣрѣ можно было бы также съ удобствомъ принять за тонику *h*, а заключеніе въ доминантѣ и нижней доминантѣ разсматривать составленными по прежнему способу. Вообще опредѣленіе тоники въ этихъ пятитонныхъ мелодіяхъ зачастую еще гораздо болѣе шатко, чѣмъ въ семитонныхъ.

И такъ обыкновенно даваемое правило, что въ валлійско-китайской скалѣ выпускаются кварта и септима, относится только къ той пятитонной гаммѣ, которая отвѣчаетъ нашей мажорной скалѣ и которая господствуетъ между употребляемыми нынѣ шотландскими мелодіями, по всей вѣроятности вслѣдствіе реакціи относительно новѣйшей си-

---

*) Ambrosch l. c. Bd. I, S. 30. Сюда принадлежитъ также первая пьеса стр. 35 по Барроу (Barrow) и Аміо (Amiot).

стемы тоновъ. Приведенные здѣсь примѣры показываютъ, что въ пятитонной гаммѣ, если вообще этимъ гаммамъ присвоиваютъ обладаніе нѣкоею тоникою, эта послѣдняя можетъ занимать всѣ возможныя положенія.

Въ шотландскихъ мелодіяхъ пропуски обоихъ тоновъ какъ мажорной, такъ и минорной гаммы, совершаются безъ исключенія, такъ что интервалы гаммы въ полутонахъ измѣняются въ интервалы въ $1\frac{1}{2}$ тона. Правда, что я нашелъ между китайскими мелодіями одну, которая можетъ быть причислена къ древней энгармонической системѣ Грековъ, о которой слѣдуетъ поговорить далѣе и въ которой находятся ступени въ полутонахъ; эта мелодія найдетъ свое объясненіе въ упомянутой энгармонической системѣ.

Мы приходимъ теперь къ построенію семитонныхъ гаммъ. Ихъ первыя формы развились подъ вліяніемъ дѣленій на тетрахорды Грековъ. Древнѣйшія мелодіи Грековъ имѣли незначительный объемъ и мало ступеней, особенность, на которую особенно налегали также и позднѣйшіе писатели, какъ напр. Плутархъ и которая впрочемъ находится также у большинства другихъ народовъ въ начальныхъ періодахъ ихъ музыкальнаго развитія; поэтому скала образовалась сначала въ предѣлахъ болѣе тѣсныхъ октавы, именно въ предѣлахъ тетрахорда. Если теперь искать въ предѣлахъ такого тетрахорда, ближайшіе сродные къ предѣльной тоникѣ (μέση), то въ этотъ циклъ попадутъ только терціи. Если въ тетрахордѣ *h*—*e*, мы примемъ послѣдній тонъ за тонику, то ея ближайшій сродный тонъ въ предѣлахъ тетрахорда будетъ *c*, т. е. большая нижная терція *e*. Это даетъ:

1. Древній энгармоническій тетрахордъ Олимпоса.

$$h \smile c — — e.$$
$$\frac{3}{4} \quad \frac{4}{5} \qquad 1.$$

Архитасъ (Archytas) впервые установилъ для энгармоническаго лада отношеніе $c : e = 4 : 5$. Слѣдующій затѣмъ сродный тонъ *e* былъ бы малою нижнею терціею; если мы ее присоединимъ, то получимъ:

2. Древнѣйшій хроматическій тетрахордъ Грековъ.

$$h \smile c \smile cis — \smile e$$
$$\frac{3}{4} \quad \frac{4}{5} \quad \frac{5}{6} \qquad 1.$$

Данная здѣсь настройка интерваловъ соотвѣтствуетъ показаніямъ Эратосѳена (въ третьемъ вѣкѣ до Р. Х.). Интервалъ между *c* и *cis* здѣсь отвѣчаетъ только малому отношенію $\frac{25}{24}$, которое меньше полу-

тона $\frac{16}{15}$. Рядомъ съ нимъ стоитъ гораздо большій интервалъ *cis*—*e*, отвѣчающій малой терціи. Если отъ нижняго тона тетрахорда брали малую терцію вверхъ, то получали болѣе равномѣрное размѣщеніе интерваловъ. Этимъ путемъ получается

3. Діатоническій тетрахордъ.

$$h — c — d — e$$
$$\frac{3}{4} \quad \frac{4}{5} \quad \frac{9}{10} \quad 1.$$

Это и есть та настройка, которую даетъ Птоломей для діатоническаго тетрахорда; но при этомъ слѣдуетъ замѣтить, что если *e* разсматривается какъ тоника, то *d* имѣетъ съ тоникою только слабое сродство во второй степени, посредствомъ *h*. Если сперва соединяли, какъ это уже происходило прежде, два тетрахорда

$$h — — e — — a$$

то получали для *d* болѣе тѣсное сродство во второй степени, когда его строили какъ нижнюю квинту *a*. Если $e = 1$, то $a = \frac{4}{3}$ и его нижняя квинта $d = \frac{8}{9}$. Это даетъ тетрахордъ

$$h \smile c — d — e$$
$$\frac{3}{4} \quad \frac{4}{5} \quad \frac{8}{9} \quad 1,$$

отвѣчающій настройкѣ данной Дидимомъ (въ первомъ вѣкѣ по Р. Х.).

Сообразно древнѣйшей теоріи Пиѳагора, разборъ коей я дамъ ниже, всѣ интервалы діатонической скалы были бы получены рядомъ послѣдовательныхъ квинтъ и настройка была бы слѣдующею:

$$h \smile c — d — e$$
$$\frac{4}{3} \quad \frac{81}{64} \quad \frac{9}{8} \quad 1,$$
$$\frac{243}{256} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{9}{8}.$$

Полученный такимъ образомъ тетрахордъ есть греческій дорійскій, который былъ разсматриваемъ какъ нормальный и служилъ основаніемъ всѣхъ соображеній также и для другихъ скалъ. Поэтому въ качествѣ неизмѣнныхъ предѣловъ тетрахорда разсматривались по крайней мѣрѣ теоретически всегда тѣ тоны, которые ограничивали полутоны скалы нисходя, тогда какъ средніе тоны могли мѣнять свои расположенія. Плутархъ упоминаетъ, что настройка такъ называемыхъ неизмѣнно стоящихъ тоновъ также иногда немного измѣнялась на практикѣ, что можетъ имѣть свой смыслъ въ томъ, что въ ли-

дійскомъ, фригійскомъ и т. д. *тонѣ*, тоника не была взята изъ такъ называемыхъ неизмѣнно стоящихъ тоновъ тетрахорда. Такъ напр. мы впослѣдствіи увидимъ, что если *d* тоника, то *h* не составляетъ съ *e* при натуральной настройкѣ вѣрной квинты. Впрочемъ тетрахорды могутъ быть пополнены и еще иначе, посредствомъ введенія тоновъ, образующихъ то съ верхнимъ, то съ нижнимъ предѣльнымъ тономъ, то большую то малую терцію.

Двѣ малыя терціи даютъ фригійскій тетрахордъ.

$$d - e \smile f - g$$

$$\frac{3}{4} \quad \frac{5}{6} \quad \frac{9}{10} \quad 1.$$

Если отъ нижняго предѣльнаго тона берется большая терція восходя, а отъ верхняго малая терція нисходя, то мы получаемъ лидійскій тетрахордъ

$$c - d - e \smile f$$

$$\frac{3}{4} \quad \frac{5}{6} \quad \frac{15}{16} \quad 1.$$

Двѣ большія терціи дали бы видоизмѣненіе хроматической гаммы $h \smile c - dis \smile e$, которое по видимому не употреблялось, или по крайнѣй мѣрѣ не различалось отъ хроматической.

Это нормальныя дѣленія тетрахорда; но кромѣ того встрѣчались также другія подраздѣленія, которыя были обозначаемы самими Греками ирраціональными (ἄλογα) и о примѣненіи которыхъ на практикѣ мы не вполнѣ знаемъ. Одно изъ нихъ, мягкій діатоническій ладъ требуетъ интервала находящагося по крайней мѣрѣ весьма близко къ натуральному консонансу 6 : 7, что встрѣчается между квинтою и натуральною малою септимою основнаго тона и который вѣроятно при случаѣ также примѣняется къ новѣйшей гармонической музыкѣ, когда пѣвцы свободно вставляютъ малую септиму септаккорда. Интервалы суть:

$$\overbrace{\underbrace{\frac{21}{20} \quad \frac{10}{9}}_{6:7.} \quad \frac{8}{7}}^{3:4}$$

Чрезъ пониженіе Лиханоса, Паргипатъ также стѣсняется внизъ однако малый интервалъ $\frac{21}{20}$ все еще весьма близко отвѣчаетъ полутону пиѳагоровой скалы, который можетъ быть выраженъ въ наименьшихъ числахъ $\frac{20}{19}$.

Въ равномѣрномъ діатоническомъ ладѣ Птоломея коего дѣленіе было:

$$\overbrace{\underbrace{\frac{12}{11} \quad \frac{11}{10}}_{5:6} \quad \frac{10}{9}}^{3:4}$$

заключается натуральная малая терція, но эта послѣдняя раздѣлена на двѣ по возможности равныя части.

Подобная же послѣдовательность тоновъ, но въ обратномъ порядкѣ, какъ это было найдено Сирійцемъ Михаиломъ Месхакахъ *) (Meshakah), находится въ современной аравійской скалѣ. Здѣсь октава раздѣляется на 24 четверти тона; тетрахордъ ихъ имѣетъ 10; его нижняя ступень 4, а обѣ верхнія по 3. При этихъ условіяхъ обѣ верхнія, взятыя вмѣстѣ, составляютъ весьма приблизительно малую терцію, которая какъ и въ равномѣрной діатонической системѣ Грековъ раздѣлена на двѣ одинаковой величины ступени, безъ всякаго принимания во вниманіе какого либо чувствительнаго сродства, образующагося такимъ образомъ промежуточнаго тона.

Чѣмъ впрочемъ тѣснѣе интервалъ, тѣмъ его можно будетъ дѣлить на двѣ ступени одинаковаго различія высоты легче и вѣрнѣе, чисто по ощущенію этихъ различій высотъ. Въ особенности же это возможно при ступеняхъ, которыя приближаются къ предѣламъ различаемаго. Явственность воспринимаемаго различія даетъ намъ мѣру ихъ величины. Въ этомъ смыслѣ вѣроятно можно еще объяснить возможность позднѣйшаго энгармоническаго лада Грековъ, который во времена Аристоксена (Aristoxenus) вышелъ уже однако снова изъ употребленія и впослѣдствіи былъ снова примѣненъ, быть можетъ, какъ археологическая рѣдкость. Въ этомъ ладѣ полутонъ вышеупомянутаго древняго энгармоническаго лада Олимпоса (Olympos) дѣлился еще разъ на двѣ четверти тона, такъ что образовывался тетрахордъ подобный хроматическому, но только съ еще болѣе тѣсными интервалами ближайшихъ тоновъ. Дѣленіе такого энгармоническаго тетрахорда было

$$\overbrace{\frac{32}{31} \quad \frac{31}{30} \quad \frac{5}{4}}^{4:3}.$$

Эту четверть тона, мы можемъ только себѣ объяснить, какъ задержаніе въ мелодическомъ движеніи къ нижнему предѣльному тону тетрахорда. Подобный же интервалъ встрѣчается еще въ этомъ видѣ въ современной восточной музыкѣ. Одинъ замѣчательный музыкантъ

*) Journal of the American Oriental Society Vol. I, p. 173. 1847.

котораго я просилъ на это обратить вниманіе во время его путешествія въ Каиръ, писалъ мнѣ объ этомъ слѣдующее: «я эту ночь внимательно прислушивался къ пѣнію на минаретахъ, чтобы составить себѣ понятіе о четверть-тонахъ, которые я считалъ невозможными, такъ какъ я полагалъ, что Арабы поютъ фальшиво. Однако сегодня, когда я былъ у дервишей, я пришелъ къ убѣжденію, что эти четвертитона существуютъ, а именно по слѣдующимъ причинамъ: многія мѣста, въ родѣ литаній оканчиваются нѣкоторымъ тономъ, который былъ сначала четвертью тона и оканчивался вѣрнымъ тономъ. Такъ какъ это мѣсто повторялось часто, то я имѣлъ случай всякій разъ наблюдать тоже самое и интонація была постоянно одна и таже». Впрочемъ вѣдь и у греческихъ писателей о музыкѣ также упоминается, что четверти тона энгармоніи различаются съ трудомъ.

Новые пояснители греческаго музыкальнаго ученія по большей части выражали мнѣніе, что названныя различія въ настройкѣ, которую Греки называли оттѣнками тона (Tonfarben, χρόαι), суть только теоретическія умозрѣнія, которыя никогда не дошли до примѣненія *). Они считаютъ эти различія столь малыми, что необходима совершенно не вѣроятная утонченная выработка слуха для того, чтобы постичь ихъ эстетическое дѣйствіе. Въ противоположность этому я долженъ утверждать, что это мнѣніе современныхъ теоретиковъ могло установиться только потому, что никто изъ нихъ не пытался подражать упомянутымъ различнымъ ладамъ практически и сравнить ихъ слухомъ. На гармоніонѣ, который будетъ описанъ впослѣдствіи, я могу сравнить натуральную настройку съ пиѳагоровою и воспроизвести діатоническій ладъ то по способу Дидима, то Птоломея, или же дѣлать другія уклоненія. Различіе коммы $\frac{81}{80}$ вовсе не трудно узнать въ настройкѣ различныхъ ступеней, если исполняются извѣстныя мелодіи въ различныхъ оттѣнкахъ тона и всякій музыкантъ, которому я дѣлалъ этотъ опытъ, тотчасъ же слышалъ упомянутое различіе. Мелодическіе ходы съ пиѳагоровыми терціями звучатъ напряженно и безпокойно; напротивъ ходы съ натуральными терціями звучатъ благозвучно, спокойно и мягко не смотря на то, что наша обыкновенная равномѣрная настройка имѣетъ терціи, которыя ближе подходятъ къ пиѳагоровымъ, чѣмъ къ натуральнымъ и поэтому пер-

*) Беллерманъ (Bellerman) также того же мнѣнія (Tonleitern der Griechen § 27). Вестфаль (Westphal) собралъ въ своихъ отрывкахъ изъ греческихъ ритмиковъ стр. 209, тѣ мѣста греческихъ писателей, которыя доказываютъ истинное практическое употребленіе упомянутыхъ оттѣнковъ. По Плутарху (de Musica стр. 38 и 39) позднѣйшіе Греки имѣли также пристрастіе къ оставленнымъ интерваламъ.

выя для насъ привычнѣе послѣднихъ. Что же касается далѣе до утонченности чувственной наблюдательности въ художественныхъ вещахъ, то въ этомъ отношеніи, мы должны смотрѣть на Грековъ какъ на неподражаемые образцы. Въ разсматриваемомъ нами предметѣ, Греки имѣли совершенно особый поводъ и расположеніе образовать утонченнѣе свой слухъ, чѣмъ мы. Мы съ юношества привыкли къ тому, чтобы мириться съ неточностями современной равномѣрной настройки и все прежнее разнообразіе различнаго выраженія ладовъ сократилось до довольно легко воспринимаемаго различія мажора и минора. Однако разнообразныя степени выраженія, которыхъ мы достигаемъ посредствомъ гармоніи и модуляціи, Греки и другіе народы, которые только обладали гомофоническою музыкою, должны были стараться достичь болѣе утонченнымъ и разнообразнымъ примѣненіемъ ладовъ; поэтому нѣтъ ничего удивительнаго, если ихъ слухъ выработался для этого рода различій гораздо утонченнѣе, чѣмъ нашъ.

Впрочемъ греческая гамма была уже прежде продолжена до октавы; говорятъ, что восемь ступеней діатонической гаммы въ предѣлахъ октавы, установилъ вполнѣ Пиѳагоръ. Сначала соединили по два тетрахорда, такъ что ихъ тонъ μέση былъ общимъ:

$$\underbrace{e \smile f - g - a}\underbrace{\smile b - c - d},$$

вслѣдствіе этого произошла семитонная гамма. Затѣмъ эта гамма была перестроена въ форму:

$$\underbrace{e \smile f - g - a} - \underbrace{h \smile \;\; - d - e},$$

такъ что она состояла изъ тетрахорда и трихорда, о чемъ уже было говорено выше; наконецъ трихордъ былъ преобразованъ въ тетрахордъ Лихаономъ изъ Самоса (по Боэцію) или Пиѳагоромъ (по Никомаху) и вслѣдствіе этого изъ двухъ раздѣленныхъ тетрахордовъ составилась восьмитонная гамма.

Полученная діатоническая гамма могла посредствомъ прибавленія высшихъ и низшихъ октавъ ея ступеней, быть какъ угодно далеко продолженною, и давала тогда равномѣрно мѣняющійся рядъ цѣлыхъ тоновъ и полутоновъ. Для каждой же отдѣльной музыкальной пьесы примѣнялась однако только часть этой безпредѣльной діатонической гаммы и по различію этихъ частей различали различныя системы тоновъ.

Такія ограниченныя гаммы могутъ быть даны въ весьма различномъ смыслѣ. Первое практическое условіе, которое должно представляться какъ только долженъ быть употребляемъ для исполненія му-

зыкальной пьесы инструментъ съ ограниченнымъ числомъ струнъ, какъ напр. греческая лира, очевидно то, что всѣ тоны, которые встрѣчаются въ музыкальной пьесѣ, должны встрѣчаться также и въ струнахъ лиры. Слѣдовательно этимъ предписывается для настройки инструмента извѣстный рядъ тоновъ, которые должны быть настроены на струнахъ. Если намъ данъ въ качествѣ гаммы рядъ тоновъ по которому настраивалась лира, то вообще изъ этого ровно ничего не слѣдуетъ касательно того, что можно ли въ подобной гаммѣ отличить тонику и какую именно. Можно найдти довольно много мелодій, коихъ низшій тонъ тоника, другія въ коихъ затрогивается еще одна ступень ниже тоники, другія въ которыхъ нижайшій тонъ составляютъ квинта или кварта ближайшей нижней октавы. Различіе между автентическими и плагіальными гаммами среднихъ вѣковъ такого же рода. Въ автентическихъ гаммахъ нижайшій тонъ былъ тоникою, въ плагіальныхъ ея квинта, напр.

Первый автентическій церковный *тонъ*, тоника *d*.

d — e — f — g — a — h — c — d

Четвертый плагіальный, тоника *g*:

d — e — f — g — a — h — c — d.

Полагали что они, какъ показываютъ скобки, сложены изъ квинты и кварты; въ автентическихъ квинта лежала внизу, а въ плагіальныхъ вверху. Если намъ теперь дадутъ не болѣе какъ такую гамму, которая обозначаетъ случайный объемъ ряда мелодій, то, относительно *тона*, мы изъ этого можемъ извлечь немногое. Такіе ряды тоновъ, которые прилаживаются только къ объему извѣстныхъ мелодій мы можемъ назвать случайными гаммами. Къ нимъ между прочимъ принадлежатъ плагіальныя гаммы среднихъ вѣковъ. Напротивъ тѣ гаммы, которыя по образцу современныхъ, ограничены сверху и снизу тоникою мы называемъ настоящими гаммами. Теперь ясно, что практика приводитъ сначала только къ случайнымъ гаммамъ. Лиру, которою желали сопровождать пѣніе въ унисонѣ, было совершенно необходимо строить такъ, чтобы въ ней были необходимые тоны. Обозначать тонику одноголоснаго пѣнія какъ таковую, сдѣлать ее кромѣ того явственною и выразить отношеніе къ другимъ тонамъ, не было непосредственнаго интереса. Въ современной музыкѣ, гдѣ строеніе существенно зависитъ отъ тоники, происходитъ совсѣмъ другое. Теоретическія изслѣдованія строенія мелодіи, могутъ впервые привести къ различенію тоники. Въ предъидущей главѣ уже было

упомянуто о томъ, что Аристотель какъ эстетикъ, единственный, который объ этомъ оставилъ ясныя замѣчанія, тогда какъ другіе авторы, которые писали собственно о музыкѣ, ничего объ этомъ не сказали.

Во время процвѣтанія искусствъ въ Греціи, для сопровожденія по правилу пользовались восьмиструнною лирою, коей строй отвѣчалъ объему октавы взятой изъ діатонической гаммы. Эти лады были слѣдующіе:

1. Лидійскій:

c — d — e — f — g — a — h — c.

2. Фригійскій:

d — e — f — g — a — h — c — d.

3. Дорійскій:

e — f — g — a — h — c — d — e.

4. Гиполидійскій:

f — g — a — h — c — d — e — f.

5. Гипофригійскій (іонійскій):

g — a — h — c — d — e — f — g.

6. Гиподорійскій (эолійскій или локрійскій):

a — h — c — d — e — f — g — a.

7. Миксолидійскій:

h — c — d — e — f — g — a — h — (c).

Слѣдовательно всякій тонъ діатонической гаммы могъ быть употребляемъ, какъ начальный и конечный пунктъ такого лада. Лидійскіе и гиполидійскіе ряды тоновъ заключаютъ лидійскіе тетрахорды; фригійскіе и гипофригійскіе заключаютъ фригійскіе, дорійскіе и гиподорійскіе дорійскіе. Въ миксолидійскомъ ладѣ по видимому находятся два лидійскихъ тетрахорда, изъ коихъ одинъ однако былъ раздѣленъ, какъ это обозначено выше скобками.

Названныя гаммы (тропы) цвѣтущаго состоянія Греціи разсматри-

вали до сихъ поръ какъ настоящія, въ предположеніи, что ихъ низшій тонъ (Гипатъ) былъ тоникою; но насколько я понимаю, здѣсь недостаетъ точнаго подтвержденія этого предположенія. Сказанное по этому поводу Аристотелемъ, какъ мы видѣли, говоритъ въ пользу того что средній тонъ (Мезе) тоника, тогда какъ другія свойства нашей тоники принадлежатъ конечно Гипату. *) Но какъ бы это тамъ ни было, принимался ли за тонику Мезе или Гипатъ, разсматриваемъ ли мы всѣ гаммы какъ автентическія или всѣ какъ плагіальныя, все же съ большою вѣроятностью слѣдуетъ, что уже Греки, у которыхъ мы впервые находимъ діатоническую гамму полною, позволяли себѣ пользоваться различными, по всей вѣроятности, всѣми тонами этой гаммы какъ тоникою, точно также, какъ мы видѣли, что у Китайцевъ и Валлійцевъ тоникою могла быть каждая ступень пятитонной гаммы. Тѣже самыя гаммы, по всей вѣроятности непосредственно заимствованныя у древнихъ, мы находимъ въ древнемъ христіанскомъ церковномъ пѣніи.

*) Р. Вестфаль (R. Westphal) въ своей исторіи древней и средневѣковой музыки, Бреславль 1864 г., которая къ сожалѣнію и до сихъ поръ осталась неоконченною, воспользовался упомянутыми указаніями Аристотеля, чтобы составить гипотезу о тоникѣ и родѣ заключенія вышеупомянутыхъ гаммъ. Однако онъ примѣняетъ положенія Аристотеля только къ дорійской, фригійской, лидійской, миксолидійской и локрійской скаламъ, но не къ извѣстнымъ уже равнымъ образомъ въ то время эолійской и іонійской, для исключенія которыхъ въ этомъ случаѣ не видно основанія. Въ четырехъ прежде названныхъ гаммахъ онъ принимаетъ за тонику Мезе, а Гипатъ за заключительный тонъ. Напротивъ у гаммъ, обозначенныхъ начальнымъ слогомъ «Гипо», Гипатъ былъ тоникою и заключительнымъ тономъ; при названіи соединенномъ со словомъ «синтоно» Гипатъ,—заключительный тонъ и терція тоники, точно также какъ это быть можетъ встрѣчается въ упомянутомъ нами уже разъ бэотійскомъ *тонѣ*. Отсюда слѣдуетъ, что гамма *A*-Moll является какъ дорійская съ заключеніемъ въ *e*, какъ гиподорійская съ заключеніемъ въ *a*, какъ бэотійская съ заключеніемъ въ *c*; далѣе что миксолидійская гамма есть *E*-Moll-ная съ малою секундою и съ заключеніемъ въ *h*; локрійская гамма *D*-Moll-ная съ большою секстою и съ заключеніемъ въ *a*; фригійская, гипофригійская или іастійская и синтоноіастійская гаммы *G*-Dur-ныя съ малою септимою, изъ коихъ первая заключалась въ *d*, вторая въ *g*, третья въ *h*. Наконецъ лидійская, гиполидійская и синтонолидійская гаммы были какъ говорятъ *F*-Dur-ныя съ увеличенною квартою и съ заключительными тонами соотвѣтственно *c*, *f* или *a*; но нормальнаго мажорнаго *тона* по Вестфалю, во всякомъ случаѣ не было. Если іонійскую гамму объяснять по словамъ Аристотеля то она бы дала вѣрный Dur. Тоника *E* съ квартою *H* является для нашего чувства совершенно невозможною.

Слѣдовательно, если мы отбросимъ хроматическія, энгармоническія и совершенно произвольныя гаммы Азіятцевъ, которые всѣ оказались непригодными къ дальнѣйшему развитію, то въ гомофонической музыкѣ составятся тѣ семь гаммъ, которыя показываютъ между собою такое же различіе лада, какъ наши мажорныя и минорныя гаммы. Эти различія выступятъ явственнѣе, если всѣ гаммы будутъ начинаться съ той же самой тоники *c*.

Лады.		Обозначеніе ладовъ по Глареану.	Новое предполагаемое обозначеніе.
Лидійскій	*c—d—e—f—g—a—h—c*	Іонійскій.	Мажорный ладъ.
Іонійскій	*c—d—e—f—g—a—b—c*	Миксолидійскій.	Квартовый ладъ.
Фригійскій . . .	*c—d—es—f—g—a—b—c*	Дорійскій.	Септимовый ладъ.
Эолійскій	*c—d—es—f—g—as—b—c*	Эолійскій.	Терціевый или минорный ладъ.
Дорійскій	*c—des—es—f—g—as—b—c*	Фригійскій.	Секстовый ладъ.
Миксолидійскій.	*c—des—es—f—ges—as—b—c*		Секундовый ладъ.
Синтонолидійскій. . .	*c—d—e—fis—g—a—h—c*	Лидійскій.	Квинтовый ладъ.

Я прибавилъ для большей наглядности названія данныя церковнымъ *тонамъ* Глареаномъ, которыя хотя и происходятъ отъ смѣшенія ладовъ съ позднѣйшими транспонированными минорными греческими гаммами, но которыя болѣе извѣстны музыкантамъ вѣрныхъ греческихъ названій. Однако я не буду употреблять названій Глареана, не прибавивъ, что они относятся къ церковному *тону*; вообще было бы лучше, если бы ихъ позабыли. Старое обозначеніе цифрами введенное Амвросіемъ было гораздо цѣлесообразнѣе; но такъ какъ эти цифры были снова измѣнены и недостаточны для всѣхъ *тоновъ*, то я себѣ позволилъ предложить новыя обозначенія въ вышеприведенной таблицѣ, которыя избавляютъ читателя отъ труда заучивать наизустъ системы греческихъ именъ, изъ коихъ названія Глареана положительно не вѣрны, а другія конечно не были вѣрно примѣняемы. По предлагаемому новому обозначенію, выраженіе «квартовой ладъ *C*» обозначалъ бы *тонъ*, коего тоника *C*, но который имѣетъ у ключа тоже число знаковъ перемѣщенія, какъ и въ мажорной гаммѣ построенной на квартѣ *C*, именно *F*. При этомъ слѣ-

дуетъ замѣтить, что въ этихъ названіяхъ,—подъ септимами, терціями, секстами и секундами, слѣдуетъ понимать малые интервалы; если бы мы захотѣли избрать большіе, то тоника совсѣмъ бы не вошла въ ихъ гаммы. Слѣдовательно, «терціевый ладъ *C*» обозначаетъ гамму съ тоникою *C*, у которой знаки перемѣщенія въ ключѣ гаммы *Es*—Dur, такъ какъ *Es* малая терція *C*; слѣдовательно это гамма *C*—Moll, по крайней мѣрѣ какъ это послѣдняя исполняется нисходя. Я надѣюсь, что при этомъ обозначеніи, читателю будетъ легче сдѣлать общій обзоръ того, о чемъ говорится.

Это было системою греческихъ *тоновъ* во время цвѣтущаго состоянія греческаго искусства до македонскаго владычества.

Мелодіи, писавшіяся въ древности для пѣнія, ограничивались, какъ еще и теперь многія мелодіи римско-католической литургіи, тетрахордомъ; впослѣдствіи онѣ достигли объема октавы; поэтому для пѣнія не требовалось гаммъ значительно большаго объема: въ то время пренебрегали употребленіемъ напряженныхъ высокихъ и незвучныхъ низкихъ тоновъ человѣческаго голоса; новогреческія пѣсни, собранныя въ нѣкоторомъ числѣ Вейцманомъ (Weitzmann) *) имѣютъ также поразительно малое протяженіе тоновъ. Если уже Фринисъ (Phrynis) (побѣдитель въ Панаѳенеяхъ 457 до Р. Х.) снабдилъ китару девятью струнами, то существенное преимущество этого нововведенія было то, что онъ могъ переходить изъ одного лада (Tongeschlecht) въ другой.

Позднѣйшая греческая гамма, какъ она впервые является у Эвклида (Euclides), обнимаетъ двѣ октавы. Строеніе ея слѣдующее:

A	Прибавочный тонъ,	*Proslambanomenos.*
H c d e	Низшій тетрахордъ,	*Tetr. hypatōn.*
e f g a	Средній тетрахордъ,	*Tetr. mesōn.*

---

h c' d' e'	Раздѣленный тетр. *T. diezeugmenōn*		*a b c' d'*	Соединенный тетрахордъ. *T. synemmenōn.*
e' f' g' a'	Прибавочный тетр. *T. hyperbolaiōn.*			

*) Geschichte der griechischen Musik. Berlin 1855.

Слѣдовательно здѣсь мы имѣемъ разъ гиподорійскую скалу въ двѣ октавы, затѣмъ еще прибавочный тетрахордъ, который возлѣ *h* первой скалы вводитъ еще тонъ *b*, вслѣдствіе чего, по современному выраженію, сдѣлались возможными модуляціи изъ *тона* главной гаммы въ *тонъ* субдоминанты. *)

Эта скала, которая въ сущности минорная гамма, была транспонирована и вслѣдствіе этого получили новый рядъ гаммъ, которыя отвѣчали различнымъ минорнымъ гаммамъ современной музыки при исполненіи ихъ нисходя, но которымъ однако оставили прежнія названія ладовъ, давая съ самаго начала каждому минорному *тону* названіе, принадлежавшее тому ладу, который образовался частью минорной гаммы, лежащей между двумя предѣльными тонами гиподорійской гаммы. По нотному обозначенію Грековъ, мы должны писать эти тоны *f*—*f*. Но по всей вѣроятности они лежали терціею ниже. Такъ напр. *D*-Moll назывался лидійскимъ, потому что въ гаммѣ *D*-Moll

d — *e* — | *f* — *g* — *a* — *b* — *c* — *d* — *e* — *f* | — *g* — *a* — *b* — *c* — *d*

часть гаммы, лежащая между тонами *f*—*f*, принадлежала лидійскому ладу. Такимъ образомъ древнія названія ладовъ измѣнили свое значеніе въ значеніе *тоновъ*. Перечень этихъ названій слѣдующій:

1) Гиподорійскій	= F-moll.	8) Фригійскій	= C-moll.	
2) Гипоіонійскій (Низшій гипофригійскій)	= Fis-moll.	9) Эолійскій (Низшій лидійскій)	= Cis-moll.	
3) Гипофригійскій	= G-moll.	10) Лидійскій	= D-moll.	
4) Гипоэолійскій (Низшій гиполидійскій)	= Gis-moll.	11) Гипердорійскій (Миксолидійскій)	= Es-moll.	
5) Гиполидійскій	= A-moll.	12) Гиперіонійскій (Высшій миксолидійскій)	= E-moll.	
6) Дорійскій	= B-moll.	13) Гиперфригійскій (Гипермиксолидійскій)	= f-moll.	Позднѣйшая прибавка.
7) Іонійскій (Низшій фригійскій)	= H-moll.	14) Гиперэолійскій	= fis-moll.	
		15) Гиперлидійскій	= g-moll.	

Въ предѣлахъ каждой изъ этихъ гаммъ можно было составить, пользуясь соотвѣтствующею ея частью, каждый изъ упомянутыхъ выше ладовъ. Кромѣ того эта гамма позволяла войдти въ тетра-

*) Этотъ родъ гаммъ сохранился страннымъ образомъ на употребляемой въ Циллерталѣ въ Тиролѣ деревянной гармоникѣ. Такая гармоника имѣетъ два ряда пластинокъ; одинъ рядъ составляетъ правильную діатоническую гамму съ тетрахордомъ *diezeugmenōn*; другой немного ниже лежащій рядъ имѣетъ въ своей верхней половинѣ тетрахордъ *synemmenōn*.

хордъ Синемменонъ (Synemmenōn) и этимъ модулировать въ *тонъ* субдоминанты.

Дѣлая опыты транспозиціи, послужившіе основаніемъ этимъ гаммамъ, узнали что можно приблизительно себѣ представить октаву, сложенную изъ 12 полутоновъ. Уже Аристоксенъ зналъ, что рядомъ послѣдовательныхъ квинтъ достигаютъ снова при двѣнадцатой квинтѣ,—тона, который (по крайней мѣрѣ приблизительно) есть высшая октава исходнаго тона. Слѣдовательно въ рядѣ

f — c — g — d — a — e — h — fis — cis — gis — dis — ais — eis

онъ сравнялъ *eis* съ *f* и этимъ былъ замкнутъ рядъ тоновъ, полученный квинтовымъ кругомъ. Правда что математики на это возражали и были правы, потому что при совершенно вѣрныхъ квинтахъ *eis* немного выше *f*. Но для практическаго исполненія эта ошибка была совершенно незамѣтною и въ гомофонической музыкѣ могла быть совершенно не принимаема во вниманіе *).

Этимъ оканчивается ходъ развитія греческой системы тоновъ. Но на сколько полны наши знанія о внѣшнихъ формахъ, на столько же мы знаемъ мало о сущности предмета, потому что примѣры сохранившихся мелодій слишкомъ малочисленны и сомнительны по своему происхожденію.

Но какова бы ни была тональность греческихъ гаммъ и сколько бы по этому предмету не оставалось неразрѣшенныхъ вопросовъ, мы находимъ что намъ нужно, для теоріи общаго историческаго развитія ладовъ, въ законахъ стариннѣйшей христіанской церковной му-

*) Для изслѣдованія греческой системы не безъ значенія тотъ фактъ, что въ ѳивскихъ царскихъ гробницахъ Египта найдена флейта (находящаяся теперь въ музеѣ г. Флоренціи подъ № 2688), которая по изслѣдованію г. Фетиса даетъ почти полную полутонную скалу на протяженіи одной съ половиною октавы. Именно:

рядъ основныхъ тоновъ:	*a, b, h, c', cis', d',*
первые верхніе тоны	*a', b', h', c'', cis'', d'',*
вторые верхніе тоны	*e'', f'', fis'', g'', gis'', a'',*
третьи верхніе тоны	*a'', b'', h'', c''', cis''', d'''.*

Изображенія такихъ флейтъ находятся на древнѣйшихъ памятникахъ Египтянъ; онѣ чрезвычайно длинны; всѣ дырья близки къ одной изъ оконечностей и поэтому на нихъ нужно было играть, протянувъ значительно впередъ руки; отсюда происходитъ характеристическое положеніе играющаго на этомъ инструментѣ. Едва ли эта древняя полутонная скала оставалась неизвѣстною Грекамъ. Если они ее ввели въ свою теорію только послѣ временъ *Александра*, то это доказываетъ, что они несомнѣнно предпочитали діатоническую гамму.

зыки, коей первыя начала еще относятся къ искусству древности. Въ четвертомъ столѣтіи нашей эры, епископъ миланскій Амвросій установилъ для церковнаго пѣнія четыре гаммы, которыя были въ неизмѣненной діатонической гаммѣ:

первый *тонъ*: *d — e — f — g — a — h — c — d*, септимовый ладъ;
второй *тонъ*: *e — f — g — a — h — c — d — e*, секстовый ладъ;
третій *тонъ*: *f — g — a — h — c — d — e — f*, квинтовый ладъ; (немелодичный);
четвертый *тонъ*: *g — a — h — c — d — e — f — g*, квартовый ладъ.

Но тонъ *h*, какъ и въ позднѣйшихъ греческихъ гаммахъ, остался измѣняемымъ и вмѣсто него могъ входить *b*; это давало слѣдующіе *тоны*:

первый: *d — e — f — g — a — b — c — d*, терцієвый ладъ (Moll);
второй: *e — f — g — a — b — c — d — e*, секундовый ладъ (немелодичный);
третій: *f — g — a — b — c — d — e — f*, Dur;
четвертый: *g — a — b — c — d — e — f — g*, септимовый ладъ.

Касательно того, что эти амвросіанскія гаммы должны быть разсматриваемы какъ настоящія не можетъ быть сомнѣнія потому, что древнее правило говоритъ, что мелодіи въ первой гаммѣ должны оканчиваться въ *d*, второй въ *e*, третьей въ *f*, четвертой въ *g*; поэтому начальный тонъ каждой изъ этихъ гаммъ характеризованъ какъ тоника. Это распредѣленіе данное Амвросіемъ, мы должны разсматривать какъ практическое упрощеніе древней теоріи съ непослѣдовательною номенклатурою, затруднявшую обученіе пѣвчихъ; поэтому мы были вправѣ предположить, что гаммы сходныя съ употреблявшимися въ цвѣтущее состояніе Греціи могли быть употребляемы какъ различныя настоящія.

Папа Григорій Великій ввелъ между амвросіанскими гаммами еще столько же случайныхъ, такъ называемымъ плагіальныхъ, простиравшихся отъ квинты тоники до дуодецимы. Въ противуположность этимъ гаммамъ амвросіанскія назывались автентическими. Существованіе этихъ плагіальныхъ церковныхъ *тоновъ* увеличило запутанность, которая существовала въ церковныхъ *тонахъ* къ концу среднихъ вѣковъ, когда композиторы начали пренебрегать древними правилами о расположеніи заключительнаго тона и эта запутанность послужила къ благопріятствованію болѣе свободнаго развитія системы тоновъ. Кромѣ того здѣсь также оказывается, какъ это уже было замѣчено въ предъидущей главѣ, что чувство проходящаго господства тоники не было еще очень развито и въ среднихъ вѣкахъ, хотя относительно греческихъ писателей, по крайней

мѣрѣ уже былъ сдѣланъ тотъ успѣхъ, что признали законъ заключенія въ тоникѣ какъ правило, хотя и не всегда ему подчинялись.

Глареанъ старался въ своемъ Додекахордонѣ 1547 г. привести снова въ ясность ученіе о *тонахъ*. Изслѣдованіями музыкальныхъ сочиненій своихъ современниковъ онъ доказалъ, что слѣдуетъ различать не 4, а 6 автентическихъ *тоновъ*, которые онъ обозначилъ выше данными греческими названіями. При этомъ онъ взялъ шесть плагіальныхъ и слѣдовательно вообще различалъ 12 *тоновъ*, отчего и происходитъ названіе его сочиненія. Слѣдовательно еще въ шестнадцатомъ столѣтіи настоящія и случайныя гаммы считались въ одномъ ряду. Между гаммами Глареана есть еще одна немелодичная, именно для квинтоваго лада, которую онъ назвалъ лидійскимъ *тономъ*. Примѣровъ этого лада, какъ это также нашелъ при тщательномъ изслѣдованіи средневѣковыхъ сочиненій Винтерфельдъ *) недостаточно, что повидимому и подтверждаетъ сужденіе Платона о миксолидійскомъ и гиполидійскомъ ладахъ.

Сообразно этому, остается въ строгомъ смыслѣ слова только слѣдующіе пять мелодическихъ ладовъ для гомофоническаго и полифоническаго пѣнія:

	по нашему обозначенію.	по греческому.	по глареану.	гаммы.
1.	Dur	Лидійскій.	Іонійскій.	$C — c$
2.	Квартовый ладъ.	Іонійскій.	Миксолидійскій.	$G — g$
3.	Септимовый »	Фригійскій.	Дорійскій.	$D — d$
4.	Терцiевый »	Эолійскій.	Эолійскій.	$A — a$
5.	Секстовый »	Дорійскій.	Фригійскій.	$E — e$

Раціональное построеніе гаммъ до октавы, или продолженныхъ за октаву, получается изъ даннаго нами выше принципа сродства тоновъ. Предѣлъ до котораго слѣдуетъ дойти въ рядѣ сродныхъ первой степени, опредѣляется тѣмъ, что слѣдуетъ избѣгать слишкомъ сближенныхъ, коихъ различеніе неявственно, интерваловъ. Существующіе еще при этомъ большіе промежутки пополняются ближайшими сродными во второй степени.

Китайцы и Валлійцы допускаютъ тѣснѣйшимъ интерваломъ цѣлый тонъ $\frac{10}{9}$; восточные народы удерживаютъ, какъ мы видѣли, еще и

*) v. Winterfeld, Iohannes Gabrieli und sein Zeitalter. Berlin 1834, Bd. I, S. 73 bis 108.

теперь четверти-тона. Греки занимались изслѣдованіемъ послѣднихъ, но оставили ихъ безъ употребленія, удержавъ полутонъ $\frac{16}{15}$.

Европейскіе народы послѣдовали Грекамъ и удержали какъ предѣлъ полутонъ $\frac{16}{15}$. Интервалъ натуральной скалы между *Es* и *E*, равно какъ и между *As* и *A*, меньше, именно $\frac{25}{24}$ и поэтому мы избѣгаемъ введенія *Es* и *E*, или *As* и *A* въ одну и туже скалу. Такимъ образомъ мы получаемъ слѣдующіе два ряда ближайше сродныхъ ступеней, для восходящей и нисходящей гаммы:

$$\text{восходя: } c — \;— e — f — g — a — \;— c'$$
$$\frac{5}{4} \quad \frac{16}{5} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{6}{5}$$
$$\text{нисходя: } c — \;— As — G — F — Es — \;— C$$
$$\frac{5}{4} \quad \frac{16}{15} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{6}{5}.$$

Цифры подъ рядами обозначаютъ интервалы между двумя слѣдующими другъ за другомъ ступенями. При этомъ мы замѣчаемъ, что интервалы непосредственно близкіе къ тоникѣ слишкомъ велики и могутъ быть раздѣлены еще болѣе. Но такое дѣленіе, послѣ того какъ мы прервали рядъ среднихъ тоновъ въ первой степени, возможно только посредствомъ сродныхъ во второй степени.

Тѣснѣйшее сродство во второй степени получается естественно чрезъ посредство ближайшихъ сродныхъ тоникѣ тоновъ. Между ними прежде всего стоитъ октава. Сродные тоны октавѣ конечно никакія другія ступени, какъ сродныя съ самою тоникою; но если мы переходимъ къ октавѣ тоники, то мы получаемъ тамъ нисходящій рядъ ступеней, гдѣ передъ этимъ имѣли восходящій и наоборотъ.

Слѣдовательно если мы отъ *c* восходимъ, то найдемъ ступени нашей мажорной гаммы:

$$c — \;— e — f — g — a — \;— c'.$$

Но мы можемъ также взять сродные тоны *c'*, которые суть:

$$c — \;— es — f — g — as — \;— c'.$$

Слѣдовательно, посредствомъ сродства во второй степени мы можемъ получить тоны минорной гаммы восходящими. Среди тоновъ этой послѣдней, дано здѣсь *es*, какъ нижняя большая секста *c'*, но она имѣетъ также слабое сродство съ *c*, данное отношеніемъ 5 : 6. Во многихъ оттѣнкахъ звука, у которыхъ недостаетъ седьмаго и восьмаго частныхъ тоновъ, мы находили еще явственно содержимымъ шестой частный тонъ, напр. въ фортепіано, при узкихъ органныхъ трубахъ и при регистрѣ микстуръ органа. Слѣдовательно отношеніе 5 : 6 можетъ быть довольно часто еще замѣчаемо какъ есте-

ственное сродство первой степени, но едва ли когда нибудь отношеніе *c* — *as* или 5 : 8. Отсюда слѣдуетъ, что въ восходящей гаммѣ, мы можемъ скорѣе перемѣнить *e* въ *es*, чѣмъ *a* въ *as*. Въ послѣднемъ случаѣ остается только сродство во второй степени. И такъ три восходящія гаммы относительно ихъ послѣдовательности слѣдуютъ такимъ образомъ:

c — *e* — *f* — *g* — *a* — *c'*
c — *es* — *f* — *g* — *a* — *c'*
c — *es* — *f* — *g* — *as* — *c'*.

Это суть тѣ различія, которыя основываются на сродствѣ во второй степени съ октавою, правда весьма незначительномъ, но они однако высказываются въ извѣстномъ преобразованіи восходящей минорной гаммы, на которое и указываютъ найденныя здѣсь различія.

Если отъ *c* нисходить, то вмѣсто сродныхъ тоновъ первой степени въ рядѣ

c — — *As* — *G* — *F* — *Es* — — *C*

можно взять также сродные нижняго *C*:

c — — *A* — *G* — *F* — *E* — — *C*.

Въ послѣднемъ рядѣ, *A* соединенъ съ исходнымъ тономъ *c* посредствомъ слабаго сродства первой степени 5 : 6, а *E* только сродствомъ во второй степени. Слѣдовательно и здѣсь можетъ также образоваться третья гамма

c — — *A* — *G* — *F* — *Es* — — *C*,

которую мы также находили восходящею. Слѣдовательно для нисходящихъ гаммъ, мы имѣемъ слѣдующіе ряды:

c — *As* — *G* — *F* — *Es* — — *C*
c — — *A* — *G* — *F* — *Es* — — *C*
c — — *A* — *G* — *F* — *E* — — *C*.

Такъ какъ вообще всѣ отдаленнѣйшія и ближайшія, высшія и низшія октавы тоники, такъ съ нею тѣсно сродны, что могутъ почти съ нею уподобляться, то и всѣ высшія и низшія октавы отдѣльныхъ ступеней почти также тѣсно сродны съ тоникою, какъ октавы того же названія, ближе къ тоникѣ расположенныя.

За октавою, какъ сродные тоны *c*, слѣдуютъ его верхняя квинта *g* и нижняя квинта *F*; поэтому при построеніи гаммъ ихъ сродные тоны и принимаются прежде всего во вниманіе. Возьмемъ ближайшіе сродные тоны *g*.

Восходящая гамма:

c сродно: *c* — — *e* — *f* — *g* — *a* — — *c'*
g сродно: *c* *d* *es* — — *g* — — *h* — *c'*.

Соединяя ихъ получимъ

1) Мажорную гамму. (Лидійскій ладъ Грековъ):

c — *d* — *e* — *f* — *g* — *a* — *h* — *c'*

$1 \quad \frac{9}{8} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{15}{8} \quad 2.$

Измѣненіе тона *e* въ *es*, облегчается здѣсь также посредствомъ сродства съ *g*. Это даетъ:

2) Восходящую минорную гамму:

c — *d* — *es* — *f* — *g* — *a* — *h* — *c'*

$1 \quad \frac{9}{8} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{15}{8} \quad 2.$

Нисходящая гамма:

c сродно: *c* — — *As* — *G* — *F* — *Es* — — — — *C*
g сродно: *c* *B* — — — *G* — — — *Es* — *D* — *C*,

даетъ:

3) нисходящую минорную гамму. (Гиподорійскій или эолійскій ладъ Грековъ — терціевый ладъ):

c — *B* — *As* — *G* — *F* — *Es* — *D* — *C*

$2 \quad \frac{9}{5} \quad \frac{8}{5} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{9}{8} \quad 1,$

или въ смѣшанной гаммѣ, въ которой *As* измѣняютъ въ *A*, получается:

4) Септимовый ладъ. (Фригійскій ладъ Грековъ):

c — *B* — *A* — *G* — *F* — *Es* — *D* — *C*

$2 \quad \frac{9}{5} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{9}{8} \quad 1.$

Если мы теперь перейдемъ къ сроднымъ тонамъ нижней квинты *F*, то найдемъ слѣдующія гаммы:

восходя:

c сродно: *c* — — — *e* — *f* — *g* — *a* — — — *c'*
F сродно: *c* — *d* — — — *f* — — — *a* — *b* — *c'*.

Это даетъ

5) Квартовый ладъ. (Гипофригійскій или іонійскій ладъ Грековъ):

c — *d* — *e* — *f* — *g* — *a* — *b* — *c'*

$1 \quad \frac{10}{9} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{16}{9} \quad 2.$

Измѣняя *e* въ *es*, мы получимъ снова

6) Септимовый ладъ, но съ другимъ значеніемъ для вставныхъ тоновъ *d* и *b*:

$$c - d - es - f - g - a - b - c'$$

$$1 \quad \frac{10}{9} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{16}{9} \quad 2.$$

Нисходящая гамма:

c сродно: $c - - - - As - G - F - Es - - - C$
F сродно: $c - B - A - - - - F - - - Des - C$,

даетъ

7) Секстовый ладъ. (Дорійскій ладъ Грековъ)

$$c - B - As - G - F - Es - Des - C$$

$$2 \quad \frac{16}{9} \quad \frac{8}{5} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{16}{15} \quad 1.$$

Такимъ образомъ мелодичные лады Грековъ и древнехристіанской церкви здѣсь всѣ снова найдены изъ послѣдовательнаго вывода естественнаго хода вещей. Въ сущности всѣ эти лады, пока дѣло идетъ только объ гомофоническомъ пѣніи равнозначащи.

Я далъ здѣсь гаммы въ такомъ видѣ, какъ онѣ происходятъ естественнымъ образомъ. Но такъ какъ мы видѣли, что каждая изъ трехъ гаммъ

$$c - - e - f - g - a - - c'$$
$$c - - es - f - g - a - - c'$$
$$c - - es - f - g - as - - c'$$

можетъ быть какъ восходящею, такъ и нисходящею, хотя первая болѣе подходитъ для восходящаго движенія, а послѣдняя для нисходящаго, то и промежутки каждой изъ нихъ въ отдѣльности могутъ быть пополнены либо сродными тонами съ *F*, либо сродными съ *g*, и даже одинъ промежутокъ можетъ быть пополненъ сроднымъ тономъ съ *F*, а другой сроднымъ тономъ съ *g*.

Численныя отношенія непосредственно сродныхъ къ тоникѣ тоновъ конечно постоянны *) и неизмѣнны, потому что они непосредственно

---

*) Именно я не могу согласиться съ тѣмъ, чтобы, какъ желаетъ Гауптманнъ, (Hauptmann), было вставлено въ восходящей минорной гаммѣ пиѳагорово *a*, которое есть квинта *d*. Д'Аламбертъ (d'Alamdert) желаетъ сдѣлать такую же вставку въ мажорной гаммѣ, когда онъ переходитъ отъ *g* къ *h* чрезъ основной басъ *d*. Это бы указывало на рѣшительную модуляцію въ *G-Dur*, которая не нужна, если удержать естественныя отношенія тоновъ къ тоникѣ. Смотри Hauptmann, Harmonik und Metrik, S. 60.

даны консонирующими отношеніями къ тоникѣ и этимъ опредѣлены вѣрнѣе чѣмъ всякимъ болѣе отдаленнымъ сродствомъ. Напротивъ вставные тоны второй степени сродства выражены не съ такою опредѣленностью.

Для секунды, если $c = 1$, мы имѣемъ:

1) *g* сродное $d = \frac{9}{8}$,
2) *f* сродное $d = \frac{10}{9} = \frac{9}{8} \cdot \frac{80}{81}$,
3) *f* сродное $des = \frac{16}{15}$.

Для септимы:

1) *g* сродное $h = \frac{15}{8}$,
2) *g* сродное $b = \frac{9}{5}$,
3) *f* сродное $b = \frac{16}{9} = \frac{9}{5} \cdot \frac{80}{81}$.

Слѣдовательно въ то время какъ *h* и *des* даны опредѣленно, тоны *b* и *d* остаются неопредѣленными. Оба могутъ составить съ тоникою *c*, либо большой цѣлый тонъ $\frac{9}{8}$, либо малый $\frac{10}{9}$.

Чтобы впредь было возможно обозначить это различіе настройки опредѣленно и не двусмысленно, былъ введенъ способъ обозначенія тоновъ, которымъ различаются тѣ тоны, которые опредѣлены рядомъ послѣдовательныхъ квинтъ, отъ тѣхъ, которые даны сродствомъ терціи къ тоникѣ. Мы уже видѣли, что эти оба различнаго рода опредѣленія, приводятъ къ нѣсколько различнымъ высотамъ тоновъ и поэтому то, въ точныхъ теоретическихъ изслѣдованіяхъ, оба родъ тоновъ должны оставаться точно отдѣленными другъ отъ друга, хотя въ современной музыкальной практикѣ они обыкновенно между собою и смѣшиваются.

Существенная идея этого способа обозначенія идетъ отъ Гауптманна; но такъ какъ большія и малыя буквы, которыми онъ, а также и я воспользовался въ первомъ изданіи этого сочиненія, имѣютъ уже другое значеніе при обозначеніи тоновъ, то я примѣняю здѣсь незначительное измѣненіе прежняго обозначенія.

Если *C* исходный тонъ, то его квинту обозначаютъ *) чрезъ *G*, квинту этой квинты чрезъ *D* и т. д.; точно также кварту *C* обозна-

---

*) Die Natur der Harmonik und Metrik. Leipzig 1853 S. 26 и ff. Я могу присоединиться только къ мнѣнію выраженному Науманомъ (С. E. Naumann), сожалѣя о томъ, что такое множество утонченныхъ музыкальныхъ воззрѣній, содержащихся въ этомъ сочиненіи, затемнѣны терминологіею Гегелевой діалектики и поэтому недоступны большинству читателей.

чаютъ черезъ F, кварту этой кварты черезъ B и т. д. Слѣдовательно рядъ тѣхъ тоновъ, которые обозначены большими буквами, составляетъ рядъ вѣрныхъ квинтъ и квартъ:

$$B - F - C - G - D - A - E \text{ и т. д.}$$

Вслѣдствіе этого, если данъ одинъ изъ этихъ тоновъ, то опредѣлена и высота остальныхъ.

Напротивъ большую терцію тона C, мы обозначаемъ съ чертою, т. е. чрезъ $\underline{E}$, большую терцію тона F чрезъ $\underline{A}$ и т. д. Слѣдовательно рядъ тоновъ

$B - \underline{D} - F - \underline{A} - C - \underline{E} - G - \underline{H} - D - \underline{Fis} - A$ и т. д. есть перемѣнный рядъ большихъ и малыхъ терцій. При этомъ ясно, что тоны

$$\underline{D} - \underline{A} - \underline{E} - \underline{H} - \underline{Fis} \text{ и т д.}$$

составляютъ снова между собою рядъ вѣрныхъ квинтъ.

Мы уже нашли выше, что тонъ $\underline{D}$, т. е. малая нижняя терція или большая секста F ниже тона D, полученнаго квинтовымъ кругомъ отъ F, а именно различіе высоты есть комма, коей численное значеніе $\frac{81}{80}$ приблизительно десятая часть цѣлаго тона. Такъ какъ $D - A$ есть такая же вѣрная квинта какъ и $\underline{D} - \underline{A}$, то и A выше $\underline{A}$ на такую же комму, какъ и всякій тонъ обозначенный неподчеркнутою буквою на комму выше тона, обозначеннаго соотвѣтствующею подчеркнутою буквою снизу, какъ это легко видѣть, если слѣдовать все далѣе квинтами.

Слѣдовательно мажорный аккордъ пишется такъ

$$C - \underline{E} - G,$$

а минорный аккордъ

$$\underline{A} - C - \underline{E} - \text{ или } \underline{C} - Es - \underline{G}.$$

Если мы вообще примемъ, что всякая черта подъ буквою понижаетъ высоту тона на интервалъ $\frac{81}{80}$, а черта надъ буквою на столько же его повышаетъ, то мы можемъ написать мажорные аккорды такъ:

$$c - \underline{e} - g \text{ или } \overline{c} - e - \overline{g},$$

минорные аккорды:

$$c - \overline{es} - g \text{ или } \underline{c} - es - \underline{g},$$

или же также

$$\overline{c} - \overline{\overline{es}} - \overline{g} \text{ и } \underline{\underline{c}} - \underline{es} - \underline{\underline{g}} \text{ и т д. *)}$$

*) Въ первомъ изданіи этой книги, малыя буквы разсматривались, какъ у Гауптманна, на комму ниже большихъ; черта надъ или подъ буквами была примѣняема только иногда какъ вспомогательное средство и обозначала тогда повышеніе или пониженіе на двѣ коммата. Слѣдовательно мажорный аккордъ писался $C - e - G$ или $\overline{c} - E - \overline{g}$; минорный аккордъ $a - C - e$ или $\underline{A} - c - \underline{E}$ и т. д. Употребляемое обозначеніе въ этомъ изданіи, а также во французскомъ переводѣ этого сочиненія предположенное г. Эттингеномъ (A. v. Oettingen) гораздо болѣе наглядно.

Слѣдовательно три ряда тоновъ непосредственно сродныхъ C, должны писаться такъ

$$C - - \underline{E} - F - G - \underline{A} - - c$$
$$C - - \overline{Es} - F - G - \underline{A} - - c$$
$$C - - \overline{Es} - F - G - \overline{As} - - c;$$

прибавочные же тоны суть

между тоникою и терціею: D, $\underline{D}$ или $\overline{Des}$,

между сектою и октавою: $\underline{H}$ и B или $\overline{B}$.

Слѣдовательно греческіе и древнехристіанскіе мелодическіе лады даютъ слѣдующія гаммы:

1) Минорный ладъ:

$$C - D - \underline{E} - F - G - \underline{A} - \underline{H} - c$$
$$\underline{D}$$

2) Квартовый ладъ:

$$C - D - \underline{E} - F - G - \underline{A} - B - c$$
$$\underline{D} \qquad \overline{B}$$

3) Септимовый ладъ:

$$C - D - \overline{Es} - F - G - \underline{A} - B - c$$
$$\underline{D} \qquad \overline{B}$$

4) Терціевый ладъ:

$$C - D - \overline{Es} - F - G - \overline{As} - B - c$$
$$\underline{D} \qquad \overline{B}$$

5) Сектовый ладъ:

$$C - \overline{Des} - \overline{Es} - F - G - \underline{A} - B - c$$
$$\overline{B}.$$

Слѣдовательно въ этомъ способѣ обозначенія, настройка тоновъ

точно выражена тѣмъ, что опредѣленъ родъ консонанса, въ которомъ они стоятъ къ тоникѣ или къ ея сроднымъ тонамъ, постоянна.

Впрочемъ въ древнегреческой пиѳагоровой настройкѣ тѣже гаммы слѣдовало бы написать такъ:

мажорный ладъ:

$$C — D — E — F — G — A — H — C;$$

подобнымъ же образомъ пишутся и другія гаммы, только такими буквами, которыя принадлежатъ соотвѣтствующему ряду послѣдовательныхъ квинтъ.

Въ представленныхъ здѣсь образцахъ для діатоническихъ гаммъ, настройка секунды и септимы остается частью сомнительною. Я въ этихъ случаяхъ предпочиталъ D передъ $\underline{D}$ и B передъ $\overline{B}$, потому что сродство квинты ближе сродства терціи. Но B и D находятся относительно ближайшихъ сродныхъ тоновъ тоники C, — F и G, въ отношеніи квинтъ, тогда какъ $\underline{D}$ и $\overline{B}$ находятся только въ отношеніи терцій. Однако это основаніе недостаточно для того, чтобы совершенно исключить послѣдне названные тоны изъ употребленія въ гомофоническомъ пѣніи, потому что если въ мелодическомъ движеніи секунда *тона* входитъ въ тѣсное сосѣдство къ сроднымъ тонамъ съ F, напр. если она ставится между F и $\underline{A}$ или слѣдуетъ за ними, то вѣрно интонирующему пѣвцу, конечно будетъ естественнѣе издать $\underline{D}$ непосредственно сродное F и $\underline{A}$, чѣмъ D сродное имъ только въ третьей степени. Немного болѣе тѣсное отношеніе послѣдняго къ тоникѣ, можетъ здѣсь дать едва замѣтную разницу.

Я также не думаю, чтобы въ этомъ двоякомъ значеніи прибавочныхъ тоновъ заключался недостатокъ системы тоновъ, потому что въ современной минорной системѣ, секста и септима *тона* измѣняются не только на комму, а на полутонъ, смотря по направленію мелодическаго движенія. Впрочемъ мы узнаемъ болѣе точныя основанія для примѣненія вмѣсто $\underline{D}$. тона D, въ слѣдующей главѣ, когда мы обратимся отъ гомофонической музыки къ вліянію на гаммы музыки гармонической.

Данный здѣсь способъ раціональнаго построенія гаммъ и соотвѣтствующей настройки интерваловъ существенно уклоняется отъ построенія даннаго Грекамъ Пиѳагоромъ и распространившагося отъ нихъ въ наши новѣйшія музыкальныя теоріи, составляя еще и теперь основаніе нашей нотной системы. Пиѳагоръ воспроизводилъ всю діатоническую гамму изъ ряда послѣдовательныхъ квинтъ

$$F — C — G — D — A — E — H$$

и поэтому вычислялъ интервалы такъ, какъ они даны выше. По его

мнѣнію въ діатоническую гамму входятъ два рода наименьшихъ интерваловъ, именно цѣлый тонъ $\frac{9}{8}$ и лимма $\frac{256}{243}$.

Если въ упомянутомъ рядѣ, тоникою былъ бы тонъ C, то A имѣлъ бы съ тоникою сродство въ третьей степени, E таковое же въ четвертой, H пожалуй въ пятой степени; сродства, которыя для непосредственнаго ощущенія ухомъ были бы абсолютно не воспринимаемы.

Правда что ряды послѣдовательныхъ квинтъ могутъ быть настроены на инструментѣ и продолжены сколько угодно; но пѣвецъ и слушатель никакъ не могутъ чувствовать при переходѣ отъ c къ e, что послѣдній тонъ четвертая квинтовая ступень c. Даже при сродствѣ во второй степени посредствомъ квинтъ, т. е. при движеніи отъ c къ d, будетъ сомнительно, возможно ли слушателю чувствовать связь обоихъ тоновъ. Но при переходѣ можно себѣ здѣсь еще вообразить вставленнымъ между обоими тонами нѣмой тонъ g, который нижняя кварта c и нижняя квинта d; такимъ образомъ этотъ тонъ возстановляетъ связь если не для тѣлеснаго уха, то по крайней мѣрѣ для памяти. Въ этомъ смыслѣ становится почти понятнымъ, когда Рамо и d'Аламбертъ объясняютъ переходъ отъ c къ d чрезъ подразумѣваемый пѣвцами основной басъ g. Если пѣвецъ не слышитъ одновременно басовой ноты g съ d, то онъ свое d не можетъ воспроизвести такъ, чтобы оно консонировало съ басовою нотою; но онъ можетъ конечно себѣ облегчить мелодичный ходъ посредствомъ промежуточнаго подразумѣваемаго тона. Это и есть средство, которое какъ извѣстно, примѣняется часто съ пользою для вѣрнаго воспроизведенія трудныхъ интерваловъ. Напротивъ это средство конечно не годится, если надо перейдти къ тонамъ болѣе отдаленнаго квинтоваго сродства.

Наконецъ если діатоническая гамма пополнена, то нѣтъ причины къ прекращенію ряда послѣдовательныхъ квинтъ. Отчего мы не слѣдуемъ къ хроматической гаммѣ съ 12-го полутонами? Къ чему эта странная несоразмѣрность ступеней

$$1, 1, \frac{1}{2}, 1, 1, 1, \frac{1}{2},$$

которою мы заключаемъ нашу гамму? Вновь присоединенные, посредствомъ ряда послѣдовательныхъ квинтъ, тоны не дали бы болѣе тѣсныхъ ступеней какъ тѣ, которыя уже имѣются. По видимому древняя пятитонная гамма избѣгала полутоновъ, какъ слишкомъ тѣсныхъ интерваловъ. Но если разъ въ гаммѣ ихъ было два, почему же не ввести и всѣхъ?

Въ аравійско-персидской музыкальной системѣ, насколько она была докончена въ лѣтописяхъ ея древнѣйшихъ теоретиковъ была также примѣняема только настройка по квинтамъ. Эта система, коей

особенности, какъ кажется, уже были развиты до завоеваній Аравитянами въ персидскомъ царствѣ Сассанидовъ, содержитъ однако весьма существенное преимущество предъ системою Пиѳагора ряда послѣдовательныхъ квинтъ.

Чтобы понять эту музыкальную систему, которая до сихъ поръ была совершенно не понята въ ея настоящемъ смыслѣ, необходимо еще знать слѣдующее: если отъ *C* настроить четыре квинты восходя

$$C - G - D - A - E,$$

то дойдутъ до нѣкоего *E*, который выше натуральной большой терціи исходнаго тона *C*, которую мы обозначаемъ черезъ $\underline{E}$, на комму $\frac{81}{80}$. *E* составляетъ терцію въ пиѳагоровой гаммѣ. Если напротивъ отъ *C* слѣдовать обратно чрезъ восемь квинтъ

$$C - F - B - Es - As - Des - Ges - Ces - Fes,$$

то доходятъ до нѣкоего тона *Fes*, который почти точно согласуется съ натуральнымъ $\underline{E}$. Интервалъ отъ *C* къ *Fes* выразится именно посредствомъ численнаго отношенія

$$\frac{8192}{6561} \text{ или приблизительно } \frac{221}{177} = \frac{5}{4} \cdot \frac{885,6}{886,6}.$$

Слѣдовательно тонъ *Fes* ниже натуральной терціи $\underline{E}$ на весьма малый интервалъ $\frac{887}{886}$, который примѣрно одиннадцатая часть коммы. Эта разница между *Fes* и $\underline{E}$ едва только замѣтна на практикѣ при точномъ наблюденіи весьма медленныхъ дрожаній, которыя бы давалъ аккордъ *C* — *Fes* — *G* на совершенно вѣрно настроенномъ инструментѣ; поэтому при практическомъ примѣненіи мы можемъ безъусловно уравнять оба тона *Fes* и $\underline{E}$, а также сообразно этому и ихъ вѣрныя квинты $Ces = \underline{H}$, $Ges = \underline{Fes}$ и т. д.

Въ аравійско-персидской скалѣ октава раздѣлена на 17 ступеней, въ нашей же равномѣрной темпераціи на 6 цѣлыхъ тоновъ; вслѣдствіе этого у новѣйшихъ изслѣдователей аравійско-персидской музыкальной системы составилось мнѣніе, что каждая отдѣльная изъ упомянутыхъ 17 ступеней соотвѣтствуетъ приблизительно $\frac{1}{3}$ тона нашей музыкальной системы. При этомъ настройка аравійскихъ ступеней дѣйствительно совершенно бы уклонялась отъ нашихъ и аравійская музыка не могла бы быть исполнена нашими музыкальными инструментами. Однако я нашелъ въ сочиненіи Кизеветтера

о музыкѣ Аравитянъ, *) которое было написано при содѣйствіи знаменитаго оріенталиста Гаммера-Пургсталля (v. Hammer-Purgstall), переводъ положеній, данныхъ о дѣленіи монохорда Абдулъ-Кадиромъ (Abdul-Kadir) знаменитымъ персидскимъ теоретикомъ, жившимъ въ XIV столѣтіи нашей эры при дворѣ Тимура и Баязета, изъ которыхъ настройка ступеней восточныхъ гаммъ выясняется съ полною достовѣрностью и точностью. Эти положенія согласуются также въ общихъ чертахъ съ тѣми, которыя дали гораздо ранѣе Фараби (Farabi) **) (+ 950) такъ и одновременно жившій съ Абдулъ-Кадиромъ, Махмудъ Ширази (Mahmud Schirasi) ***) (+ 1315) для подраздѣленія грифа лютни. По положеніямъ Абдулъ-Кадира всѣ ступени аравійской гаммы получаются рядомъ 16 послѣдовательныхъ квинтъ и если мы обозначимъ нижайшую ступень чрезъ *C*, то выраженныя по нашему способу обозначенія онѣ суть слѣдующія:

1) *C*,— 2) *Des*,— 3) $\underline{D}$,⌣ 4) *D*,— 5) *Es*,— 6) $\underline{E}$, ⌣
7) *E*,— 8) *F*,— 9) *Ges*,— 10) $\underline{G}$,⌣ 11) *G*,— 12) *As*,—
13) $\underline{A}$,⌣ 14) *A*,— 15) *B*,— 16) $\underline{H}$,— 17) $\underline{c}$,⌣ 18) *c*.

Тамъ гдѣ между двумя тонами стоитъ значекъ—, ступень составляетъ пиѳагорову лимму $\frac{256}{243}$ (сокращенно $\frac{20}{19}$), а гдѣ стоитъ значекъ ⌣, ступень составляетъ только комму $\frac{81}{80}$. Лимма приблизительно составляетъ $\frac{4}{5}$, а комма $\frac{1}{5}$ натуральнаго полутона $\frac{16}{15}$.

Изъ 12 главныхъ *тоновъ* (Makamat) Абдулъ-Кадиръ даетъ гаммы трехъ первыхъ въ слѣдующей настройкѣ:

1. Ушакъ: *C—D —E —F—G —A —B—C* (гипофригійская гамма),
2) Нева: *C—D— Es—F—G —As—B—C* (гиподорійская гамма),
3) Бузеликъ: *C—Des—Es—F—Ges—As—B—C* (миксолидійская гамма).

Слѣдовательно эти три гаммы вполнѣ однозначущи съ древне-

---

*) R. G. Kiesewetter, die Musik der Araber nach Originalquellen dargestellt, mit einem Vorworte von dem Freiherrn v. Hammer-Purgstall. Leipzig 1842 S. 32 и 33. Съ этимъ существенно согласуются положенія, которыя даются въ анонимномъ манускриптѣ 666 года Геджиры, принадлежащемъ профессору Салисбури (Salisbury). Смотри Journal of the American Oriental Society, Vol. I. pag. 204—209.

**) J. G. L. Kosegarten, Alii Ispahanensis liber cantilenarum, p. 76 bis 86.

***) Kiesewetter, Musik der Araber, S. 33.

греческими пиѳагоровой системы. Такъ какъ эти гаммы подраздѣляются арабскими теоретиками на кварту $C—F$ и квинту $F—C$, далѣе, такъ какъ C, F и B разсматриваются какъ постоянные и неизмѣнные тоны этихъ гаммъ, то весьма вѣроятно, что F долженъ быть разсматриваемъ какъ тоника. При этомъ:

1. Ушакъ была бы тожественна $\underline{F}$-Dur,
2. Нева—квартовому ладу отъ $\underline{F}$,
3. Бузеликъ секстовому ладу отъ $\underline{F}$;

по всѣ три въ пиѳагоровой настройкѣ; персидскою школою онѣ разсматриваются также какъ составляющія одно цѣлое.

Слѣдующая ближайшая группа состоитъ изъ пяти *тоновъ*, проявляющихъ натуральную настройку, именно:

4. Растъ: $C — \underline{D} — \underline{E} — F — G — \underline{A} — B — c$
5. Гуссеини: $C — \underline{D} — Es — F — \underline{G} — As — B — c$
6. Гидшафъ: $C — \underline{D} — Es — F — \underline{G} — \underline{A} — B — c$
7. Рахеви: $C — \underline{D} — \underline{E} — F — \underline{G} — As — B — c$
8. Сенгуле: $C — D — \underline{E} — F — \underline{G} — \underline{A} — B — c$.

Растъ можно разсматривать какъ квартовый ладъ C, Гидшафъ какъ таковой же F, Гуссеини какъ таковой же B; въ этомъ случаѣ они бы имѣли вполнѣ вѣрную натуральную настройку. Въ Рахеви, если его отнести къ тоникѣ F, минорная терція As не въ натуральной, а въ пиѳогоровой настройкѣ; его можно было бы разсматривать какъ септимовый ладъ тоники F, но въ который вошла какъ вводный тонъ большая септима $\underline{E}$ вмѣсто малой, какъ это въ нашемъ минорномъ ладѣ. Натуральная настройка такого лада дѣйствительно не можетъ быть точно установлена имѣющимися на лицо 17 ступенями; надо брать либо пиѳагоровы минорныя и натуральныя мажорныя терціи, или наоборотъ. Гуссеини можетъ быть разсматриваемъ какъ такой же *тонъ* какъ и Рахеви съ тою же фальшивою минорною терціею, но съ малою септимою. Наконецъ Сенгуле, было бы F-Dur съ пиѳагоровою секстою. Тоже относится и къ Расту; оба *тона* различаются только различнымъ значеніемъ секунды G или $\underline{G}$.

Четыре послѣдніе Макамата содержатъ каждый по восьми ступеней, такъ какъ въ нихъ включены еще вставные тоны. Двое изъ нихъ подобны гаммамъ Растъ и Сенгуле, но между B и C вставленъ промежуточный тонъ $\underline{c}$ именно:

9. Иракъ: $C — \underline{D} — E — F — G — \underline{A} — B — \underline{c} — c$.
10. Ифзфаганъ: $C — D — \underline{E} — F — G — \underline{A} — B — \underline{c} — c$.

Эти гаммы будучи транспонированы на кварту даютъ:

11. Бюзюргъ: $C — D — \underline{E} — F — \underline{G} — G — A — \underline{H} — c$.

Послѣдній Макаматъ есть гамма:

12. Цирефкендъ: $C — \underline{D} — Es — F — \underline{G} — As — \underline{A} — \underline{H} — c$,

которая конечно, если она передана вѣрно, имѣетъ удивительное строеніе. Она могла бы казаться минорною гаммою съ большою септимою, въ которой стоятъ другъ возлѣ друга большая и малая сексты; но тогда квинта $\underline{G}$ была бы фальшивою. Напротивъ, если разсматривать F какъ ея тонику то недостаетъ кварты; то и другое имѣетъ свою аналогію въ миксолидійской и гиполидійской гаммахъ Грековъ. Впрочемъ въ показаніяхъ о послѣдне упомянутыхъ восьмитонныхъ гаммахъ существуетъ много противорѣчій въ различныхъ источникахъ приводимыхъ Кизеветтеромъ.

Главными *тонами* 12 Макаматовъ являются именно слѣдующіе:

1. Ушакъ = пиѳагорову F-Dur,
2. Растъ = натуральному C квартовому ладу или натуральному F-Dur съ высшею секстою.
3. Гуссеини = натуральному F септимовому ладу,
4. Гидшафъ = натуральному F квартовому ладу.

Слѣдовательно мы здѣсь находимъ рѣшительное преобладаніе гаммъ съ вполнѣ вѣрною натуральною настройкою, которая достигнута искуснымъ пользованіемъ продолженнымъ рядомъ послѣдовательныхъ квинтъ. Вслѣдствіе этого, эта аравійско-персидская система весьма достойна вниманія для исторіи развитія музыки. Къ этому еще присоединяется и то, что въ нѣкоторыхъ изъ этихъ гаммъ мы находимъ восходящіе вводные тоны, которые были вполнѣ чужды греческимъ гаммамъ. Такъ въ Рахеви $\underline{E}$ вводный тонъ F въ то время, какъ As минорная терція F; упомянутый вводный тонъ не могъ въ такомъ случаѣ иначе войдти въ греческую гамму какъ измѣняя $\underline{E}$ въ Es. Точно также въ Цирефкендѣ $\underline{H}$ является какъ вводный тонъ C, въ то время какъ у C минорная терція Es.

Наконецъ немного позже, въ Персіи развилась новая музыкальная система съ 12 полутонами въ октавѣ, аналогичная современной европейской. Кизеветтеръ тутъ дѣлаетъ весьма невѣроятную гипотезу, а именно будто бы только что упомянутая система введена въ Персію христіанскими миссіонерами. Однако очевидно, что описанная передъ этимъ семнадцатитонная система должна была перейдти въ народѣ въ систему двѣнадцатитонную когда притупилось чувство для тончайшихъ различеній и когда тоны разли-

чавшіеся только на комму стали считаться одинаковыми. Для этого чуждое вліяніе было совершенно не нужно; кромѣ того Фараби уже издавна преподавалъ греческую музыкальную систему Арабамъ и Персамъ а европейская музыкальная теорія XIV и XV столѣтій еще также не сдѣлала существенныхъ успѣховъ, кромѣ изысканій о гармоніи, которыя однако никогда не имѣли примѣненія у восточныхъ народовъ. Слѣдовательно тогдашніе Европейцы въ сущности ничего не могли передать восточнымъ народамъ, чего бы тѣ уже не знали лучше, кромѣ несовершенныхъ началъ гармоніи. Я скорѣе полагаю что вопросъ можетъ быть поставленъ такъ: не основываются ли во первыхъ несовершенные остатки натуральной системы, находящейся у александрійскихъ Грековъ, на персидскихъ традиціяхъ и во вторыхъ, не выучились ли Европейцы также многому о музыкѣ у восточныхъ народовъ во время крестовыхъ походовъ. Весьма вѣроятно, что струнные инструменты съ грифомъ возбуждаемые бряцаніемъ и смычковые перешли къ намъ съ Востока. Въ строеніи *тоновъ*, здѣсь можетъ быть именно возбужденъ вопросъ объ употребленіи вводнаго тона, который мы нашли у восточныхъ народовъ и который въ это время начинаетъ также проявляться и въ западной музыкѣ.

Въ примѣненіи большой септимы *тона*, какъ вводнаго тона тоники лежитъ новый шагъ, которымъ можно было воспользоваться для дальнѣйшаго развитія взаимной зависимости ступеней гаммы, и при томъ еще въ предѣлахъ чисто гомофонической музыки. Изъ всѣхъ тоновъ гаммы *C*-Dur, тонъ $\underline{H}$ имѣетъ слабѣйшее сродство къ тоникѣ *C*, такъ какъ онъ, какъ терція доминанты *G*, имѣетъ къ ней слабѣйшее сродство ее квинты *D*. Это мы можемъ разсматривать какъ основаніе того, что въ тѣхъ валлійскихъ пѣсняхъ, въ гаммѣ которыхъ принятъ еще шестой тонъ, септима обыкновенно не существуетъ; но съ другой стороны является особенное отношеніе для септимы $\underline{H}$ къ тоникѣ, которое новѣйшая музыка обозначаетъ какъ отношеніе **вводнаго тона**. Дѣло въ томъ, что большая септима $\underline{H}$ отдѣлена отъ октавы тоники *c* только наименьшимъ интерваломъ скалы, т. е. полутономъ, и благодаря этому сосѣдству съ тоникою ее можно найти легко и довольно вѣрно если даже исходятъ отъ тоновъ скалы, неимѣющихъ къ $\underline{H}$ никакого сродства. Напр: скачекъ $F—\underline{H}$ неудобенъ для исполненія, потому что нѣтъ сродства между обоими тонами. Но если слѣдуетъ пѣть $F — \underline{H} — c$, то пѣвецъ легко себѣ представляетъ воспроизводимый имъ интервалъ $F — c$, но не совершенно повышаетъ голосъ до высоты *c*, а задерживаетъ его немного ниже на $\underline{H}$, пока онъ не совершенно перейдетъ къ высотѣ *c*. Вслѣдствіе этого

$\underline{H}$ является родомъ задержанія *c*; при такомъ интервалѣ $\underline{H}$ является также для слушателя только въ качествѣ переходной ступени къ *c*; слѣдовательно слушатель ожидаетъ перехода въ *c*; поэтому говорятъ, что $\underline{H}$ ведетъ къ *c*; $\underline{H}$, **вводный тонъ** тоники *c*. При этомъ легко также случается, что $\underline{H}$ интонируетъ немного выше, приблизительно какъ *H*, чтобы его еще болѣе приблизить къ *c*; отъ этого соотношеніе проявляется еще рѣзче.

Соотношеніе $\underline{H}$ къ вводному тону *c*, для меня гораздо болѣе поразительно, если воспроизводятъ ходы $F — \underline{H} — c$ или $F—\underline{A} — \underline{H}—c$ въ коихъ $\underline{H}$ не сроденъ съ предшествующими ему тонами, чѣмъ напр: въ ходѣ $G — \underline{H} — c$. Однако въ сочиненіяхъ о музыкѣ я ничего не нашелъ по этому предмету и слѣдовательно не знаю согласятся ли съ этимъ предположеніемъ музыканты. При другой ступени $\underline{E} — F$, $\underline{E}$ не кажется вводнымъ тономъ *F*, если хорошо выдержана тональность мелодіи, потому что $\underline{E}$ имѣетъ тогда свое самостоятельное отношеніе къ тоникѣ *C* и поэтому для музыкальнаго чувства опредѣлено яснѣе; поэтому слушатель не упуститъ изъ виду, что $\underline{E}$ оправдывается только какъ подготовительная ступень *F*. Тоже самое бываетъ и при интервалѣ минорнаго *тона* $G — \underline{As}$. *G* опредѣлено посредствомъ еще болѣе тѣснаго сродства къ тоникѣ *C*, чѣмъ $\underline{As}$. Напротивъ Гауптманъ, какъ это было упомянуто выше, полагаетъ не безъ основанія, что интервалъ $D — \overline{Es}$ минорнаго *тона* таковъ, что *D* проявляется къ $\overline{Es}$ въ качествѣ вводнаго тона, потому что *D* находится съ тоникою *C* въ сродствѣ 2-й степени; это сродство однако ближе сродства $\underline{H}$.

Но въ этомъ отношеніи, совершенно подобенъ съ $\underline{H}$ мажорной гаммы, $\overline{Des}$ секстоваго лада (дорійскаго лада Грековъ) при нисходящемъ движеніи; дѣйствительно $\overline{Des}$ составляетъ родъ нисходящаго вводнаго тона и такъ какъ Греки, въ періодъ процвѣтанія искусствъ находили нисходящій ходъ мелодіи благороднѣе и благозвучнѣе, *) то особенность дорійскаго лада, состоящая въ обладаніи такимъ нисходящимъ вводнымъ тонамъ, могла имѣть для нихъ особое значеніе и обусловила предпочтеніе этого лада. Заключеніе съ увеличеннымъ секстаккордомъ

$$\overline{Des} — F — G — \underline{H}$$
$$C — \overline{Es} — G — c.$$

почти единственный изолированный и непонятый въ новѣйшей му-

*) Aristoteles, Problemata XIX, p. 33.

зыкѣ обломокъ, оставшійся отъ древнихъ ладовъ. Это дорійское заключеніе въ которое одновременно входятъ $\overline{Des}$ и $\underline{H}$ какъ вводные тоны *C*.

Отношеніе секунды дорійской гаммы (ея Паргипатъ) къ нижайшему тону (Гипату) той же гаммы, повидимому было извѣстно Грекамъ, судя по замѣчаніямъ, которыя дѣлаетъ по этому поводу въ своей третьей и четвертой проблемахъ о гармоніи Аристотель и которыя я не могу не передать здѣсь, потому что онѣ превосходно и утонченно характеризуютъ отношеніе. Онъ именно спрашиваетъ, почему чувствуютъ сильнѣйшее напряженіе голоса когда поютъ Паргипатъ, чѣмъ при пѣніи Гипата, хотя оба отдѣлены другъ отъ друга такимъ малымъ интерваломъ. Гипатъ поется безъ напряженія. Затѣмъ Аристотель прибавляетъ, что рядомъ съ мышленіемъ, которое имѣетъ слѣдствіемъ волю, долженъ быть совершенно сродственъ и принаровленъ къ разсудку родъ напряженія воли, если именно желаемое должно быть легко достигнуто. *) Напряженіе, которое мы чувствуемъ, когда поемъ вводный тонъ, не происходитъ въ гортани, а оттого, что труднѣе установить посредствомъ воли на этомъ тонѣ голосъ, когда въ головѣ уже существуетъ другой тонъ, на который мы желаемъ перейдти и близостью котораго мы нашли уже вводный тонъ. Мы чувствуемъ себя удовлетворенными и успокоенными только при заключительномъ тонѣ и поэтому поемъ его безъ напряженія воли.

Близкое сосѣдство обоихъ тоновъ въ скалѣ даетъ между ними новую связь, которая оказывается дѣйствительною какъ въ только что разсмотрѣнномъ отношеніи вводнаго тона, такъ и въ прежде упомянутыхъ вставкахъ тоновъ между двумя другими въ хроматическомъ и энгармоническомъ ладахъ. Съ удаленіемъ тоновъ по высотѣ, здѣсь происходитъ тоже самое какъ и при измѣреніи разстояній въ пространствѣ. Если мы имѣемъ средство опредѣлить весьма точно и вѣрно одинъ пунктъ (тонику), то можемъ опредѣлить съ его помощью также и другіе пункты, которые отъ него отстоятъ въ извѣстномъ маломъ разстояніи (на интервалъ полутона), тогда какъ быть можетъ мы не могли бы ихъ опредѣлить такъ увѣренно непосредственно. Такъ астрономъ пользуется опредѣленными съ чрезвычайною точностью основными звѣздами чтобы имѣть возможность, пользуясь ими, опредѣлить точно и сосѣднія звѣзды.

При этомъ я замѣчу, что интервалъ полутона, какъ задерживающая нота (аподжіатура), играетъ также особую роль. Мы можемъ

*) Полагаю что этимъ описаніемъ я вѣрно передалъ смыслъ, начиная съ мѣста δεῖ γάρ μετὰ συννοίας καὶ καταστάσεως οἰκειοτάτης τῷ ἤδει πρὸς τὴν βούλησιν.

выбрать какъ задержаніе къ нѣкоему тону мелодіи, тонъ не содержащійся въ гаммѣ, но удаленный отъ тона, въ который мы желаемъ перейдти, на полутонъ, а не на цѣлый тонъ. Конечно въ этихъ случаяхъ, выборъ полутона оправдывается только какъ хорошо намъ извѣстный интервалъ діатонической гаммы, который мы вѣрно интонируемъ и который слушатель несомнѣнно понимаетъ, если даже въ непосредственно предстоящемъ пассажѣ, въ которомъ воспроизводится полутонъ отношенія сродства на которыхъ основывается его величина, не явственно ощутительны. Слѣдовательно всякій произвольно выбранный малый интервалъ неможетъ ни въ какомъ случаѣ быть примѣняемъ одинаковымъ образомъ; если практичными музыкантами и дѣлаются малыя измѣненія интервала вводнаго тона, которыя выражаютъ сильнѣе стремленіе къ тоникѣ, тѣмъ не менѣе они не должны идти такъ далеко, чтобы измѣненіе сдѣлалось ясно узнаваемымъ.

Слѣдовательно большая септима, какъ вводный тонъ тоники, получаетъ къ ней особое близкое отношеніе, которое не приходится на долю малой септимы. Вслѣдствіе этого, тотъ тонъ гаммы, коего сродство къ тоникѣ наислабѣйшее, получаетъ особое значеніе. Это обстоятельство стало все болѣе и болѣе высказываться въ современной музыкѣ, которая старается вездѣ установить возможно ясныя отношенія къ тоникѣ и это подѣйствовало на то, что большая септима была предпочтена при восходящемъ движеніи во всѣхъ *тонахъ*, даже и въ тѣхъ, которымъ она первоначально и не принадлежала. По видимому это измѣненіе началось въ Европѣ въ періодъ полифонической музыки, но не только въ многоголосномъ пѣніи, но даже и въ одноголосномъ *Cantus firmus* римской церкви. Оно было порицаемо буллою папы Іоанна XXII 1322 года. Вслѣдствіе этого въ нотописаніи обыкновенно выпускали повышеніе вводнаго тона въ то время, какъ оно однако было исполняемо пѣвцами и по показанію Винтерфельда дѣлалось у протестантскихъ сочинителей еще въ XVI и XVII столѣтіи, такъ какъ оно вошло въ обычай. Поэтому то и невозможно прослѣдить *) точно за ходомъ этого измѣненія старинныхъ *тоновъ*.

По указанію Эттингена **) (A. v. Oettingen) Эсты сопротивляются еще и теперь пѣнію вводнаго тона въ хоралахъ минорнаго *тона*, если онъ даже и обозначается явственно органомъ.

Между древними ладами только лидійскій ладъ Грековъ и немелодичный гиполидійскій (квинтовый ладъ) имѣли вводнымъ къ тони-

*) Der evangelische Kirchengesang. Leipzig 1843. Bd. I. Введеніе.

**) Das Harmoniesystem in dualer Entwickelung. Dorpat und Leipzig 1866 p. 113.

къ тономъ большую септиму; поэтому то первый изъ нихъ развился въ качествѣ главнаго лада новѣйшей музыки, т. е. въ нашъ мажорный ладъ. Іонійскій ладъ (квартовый ладъ) отличался отъ мажорнаго, ничѣмъ другимъ, какъ малою септимою. Если ее заставляли переходить въ большую, то и ладъ переходилъ также въ мажорный. Три другіе лада, получившіе большую септиму, слились въ XVII столѣтіи мало по малу въ нашъ минорный ладъ. Изъ фригійскаго лада (септимовый ладъ), получается измѣненіемъ B въ $\underline{H}$

восходящая минорная гамма

$$C - D - \overline{Es} - F - G - \underline{A} - \underline{H} - c,$$

т. е. такая же какъ мы ее уже нашли прежде, принимая только во вниманіе сродство тоновъ. Гиподорійскій ладъ (терціевый ладъ), который отвѣчаетъ нашей нисходящей минорной гаммѣ, даетъ при измѣненіи B въ $\underline{H}$

инструментальную минорную гамму

$$C - D - \overline{Es} - F - G - \overline{As} - \underline{H} - c,$$

которая вслѣдствіе скачка $\overline{As} - \underline{H}$ исполняется съ трудомъ пѣвцами, но часто встрѣчается въ инструментальной музыкѣ какъ восходящею такъ и нисходящею. Дорійскій ладъ (секстовый ладъ) можно найти еще съ большою септимою въ упомянутомъ передъ этимъ заключеніи, посредствомъ увеличеннаго секстаккорда.

Слѣдовательно всеобщее введеніе вводнаго тона обозначаетъ все послѣдовательнѣе развивающееся чувство господства тоники въ гаммѣ. Посредствомъ этого измѣненія не только сильно стѣсняется прежнее разнообразіе древнихъ ладовъ и существенно уменьшается богатство существовавшихъ до сихъ поръ средствъ выраженія, но этимъ также прерывается и уничтожается взаимная связь тоновъ между собою въ ихъ рядѣ. Мы видѣли, что по древнѣйшей теоріи системы тоновъ, ряды послѣдовательныхъ квинтъ состояли сперва изъ четырехъ, а потомъ изъ шести квинтовыхъ интерваловъ. Господствующее значеніе тоники какъ единственнаго центра системы не было еще, покрайней мѣрѣ, внѣшнимъ образомъ указано, или же въ крайнемъ случаѣ обозначалось непосредственно тѣмъ, что ограничивали число послѣдовательныхъ квинтъ тѣми тонами, которые встрѣчаются также и въ натуральной гаммѣ. Всѣ греческіе лады могутъ быть составлены изъ тоновъ ряда послѣдовательныхъ квинтъ

$$F - C - G - D - A - E - H.$$

Но какъ только переходятъ къ натуральной настройкѣ терцій то рядъ квинтъ уже нарушаютъ посредствомъ не совершенно вѣрной квинты

$$E - C - G - D - \underline{A} - \underline{E} - \underline{H}.$$

Въ этомъ ряду квинта $D - \underline{A}$ не вѣрна. Если же наконецъ ввести повышенный вводный тонъ напр: $\underline{\underline{Gis}}$ вмѣсто G въ $\underline{A}$-Moll, то разрываютъ рядъ вполнѣ.

И такъ, при постепенномъ развитіи діатонической системы были пожертвованы шагъ за шагомъ всѣ соображенія о цѣповидномъ сродствѣ всѣхъ тоновъ между собою въ пользу другихъ соображеній, которыя произошли вслѣдствіе требованія связать всѣ тоны съ однимъ единственнымъ центромъ. Мы также видѣли, что по мѣрѣ того какъ это происходило, въ сознаніи музыкантовъ развивалось также явственнѣе понятіе о тональности.

Но дальнѣйшее развитіе европейской системы тоновъ зависитъ отъ развитія гармоніи, къ чему мы и перейдемъ въ слѣдующей главѣ этого сочиненія.

Но прежде нежели мы оставимъ только что разсмотрѣнный предметъ, намъ слѣдуетъ устранить еще нѣкоторыя сомнѣнія. Въ настоящей главѣ я точно также сдѣлалъ зависимымъ мелодическое сродство тоновъ отъ ихъ верхнихъ тоновъ, какъ это уже было изложено въ десятой главѣ для отношеній консонанса. Этотъ способъ представленія совпадаетъ въ извѣстномъ смыслѣ съ любимымъ предположеніемъ, на которомъ не стѣсняются строить музыкальныя системы, а именно что мелодія есть развернутая гармонія; при этомъ не отдаютъ себѣ отчета о томъ, какъ гармоніи могли быть развернуты въ мелодіи въ тѣ времена и у тѣхъ народовъ, которые не слышали еще никакой гармоніи, или пренебрегаютъ ея примѣненіемъ еще и теперь. Сообразно нашему изложенію, тѣже особенности въ сложеніи звуковъ, которыя даютъ характеристику консонанса въ звуковомъ сочетаніи, должны были бы также опредѣлить мелодическое сродство въ слѣдованіи звуковъ другъ за другомъ. Поэтому первое совершенно бы не было основаніемъ послѣдняго какъ это предполагается въ вышеупомянутомъ разсужденіи, а оба имѣли бы общее основаніе въ сложеніи звуковъ.

Теперь же при консонансахъ мы еще нашли дѣйствующими извѣстныя другія данныя, именно комбинаціонные тоны, которые оказываютъ свое вліяніе въ звуковомъ сочетаніи простыхъ тоновъ или же въ сочетаніи звуковъ съ немногими и слабыми верхними тонами. Я уже изложилъ выше, что комбинаціонные тоны могутъ только весьма несовершенно замѣнить дѣйствія верхнихъ тоновъ въ

звуковомъ сочетаніи и что поэтому аккорды, составленные изъ простыхъ тоновъ кажутся вялыми и безхарактерными, такъ какъ противуположности консонанса и диссонанса развиты весьма несовершенно.

Но въ мелодическомъ слѣдованіи комбинаціонные тоны совсѣмъ не могутъ обнаруживаться и слѣдовательно является вопросъ, какимъ образомъ можетъ быть произведено мелодичное дѣйствіе слѣдованіемъ простыхъ тоновъ. Не можетъ быть сомнѣнія что узнаютъ мелодіи, исполняемыя закрытымъ регистромъ органа, или насвистываемыя ртомъ, или исполняемыя на деревянныхъ или соломенныхъ пластинкахъ въ ящикахъ съ музыкою или курантами; но точно также не можетъ быть сомнѣнія, что всѣ эти инструменты, которые воспроизводятъ только простые тоны, либо слабые по большей части весьма отдаленные и не гармоничные побочные тоны, не въ состояніи воспроизвести проникающаго дѣйствія мелодіи безъ сопровожденія собственно музыкальныхъ инструментовъ. Для веденія отдѣльныхъ голосовъ въ сопровожденіи органа, или оркестра, или фортепіано, они часто могутъ быть весьма дѣйствительны; но будучи изолированы они сами по себѣ даютъ либо весьма бѣдную, или же когда побочные негармоническіе тоны выдѣляются сильнѣе, неудовлетворительную музыку.

Между тѣмъ мы все таки должны себѣ отдать отчетъ въ томъ фактѣ, какимъ вообще образомъ подобными инструментами можетъ быть составлено нѣчто, производящее впечатлѣніе мелодіи. При этомъ во первыхъ слѣдуетъ замѣтить, какъ это я изложилъ въ концѣ седьмой главы, что проявленіе слабыхъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ въ ухѣ при всѣхъ сильныхъ объективныхъ простыхъ тонахъ благопріятствуется уже строеніемъ самаго уха и слѣдовательно только весьма не громкіе простые тоны слѣдуетъ пожалуй также разсматривать въ субъективномъ ощущеніи, какъ вполнѣ простые. Во вторыхъ, при этомъ играетъ роль дѣйствіе памяти. Какъ только я услышалъ какъ воспроизводили во всѣхъ возможныхъ высотахъ тоновъ ряды послѣдовательныхъ квинтъ, которыя оправдываются въ ощущеніи моего уха какъ интервалы весьма тѣснаго мелодическаго сродства, то я знаю уже изъ опыта величину такого интервала для каждой части скалы и сохраняю это знаніе въ моей памяти.

Теперь, если я слышу что такой интервалъ воспроизводится посредствомъ тоновъ камертоновъ, то я могу его узнать какъ часто слышанный вполнѣ извѣстнаго протяженія интервалъ также и въ такомъ случаѣ, когда недостаетъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ или же они весьма слабы, такъ что не могутъ служить къ опредѣленію болѣе тѣснаго сродства тоновъ интервала. Я буду точно также въ состояніи снова узнать другіе знакомые мелодическіе интервалы или цѣлыя мелодіи, если онѣ будутъ воспроизведены въ простыхъ тонахъ и если я въ такомъ видѣ услышу мелодію въ первый разъ, насвистываемую ртомъ, либо исполняемую курантами или стеклянною гармоникою, то я могу дополнить себѣ воображеніемъ, какъ бы она звучала, исполняемая дѣйствительно музыкальнымъ инструментомъ, человѣческимъ голосомъ, или скрипкою.

Опытный музыкантъ, пробѣгая глазами ноты, можетъ себѣ составить представленіе о мелодіи; если мы издадимъ на стеклянной гармоникѣ основные тоны этихъ нотъ, то мы еще непосредственнѣе подкрѣпимъ представленіе тѣмъ, что дѣйствительно воспроизводимъ большую часть чувственнаго впечатлѣнія, которая бы производила мелодія, если бы она была спѣта. Однако при употребленіи простыхъ тоновъ, мы имѣемъ только схему мелодіи. Здѣсь еще недостаетъ всего, что обусловливаетъ ея прелесть. Мы знаемъ отдѣльные интервалы, которые являются въ подобной мелодіи, но имъ недостаетъ непосредственнаго передаваемаго ими чувственнаго впечатлѣнія, отдѣляющаго звуки, имѣющіе тѣсное сродство, отъ другихъ съ болѣе отдаленнымъ сродствомъ, или же совершенно несродныхъ. Подумаемъ только о той разницѣ, которая происходитъ когда мелодія насвистывается ртомъ и играется на скрипкѣ, или же когда она исполняется на стеклянной гармоникѣ и играется на фортепіано. Это приблизительно тоже различіе, которое существуетъ между отдѣльною фотографіею ландшафта и глядѣніемъ въ стереоскопъ соотвѣтствующей пары фотографій. Первая, взятая отдѣльно, позволяетъ мнѣ составить на память представленіе о степени рельефности видѣннаго объекта, которое, смотря по обстоятельствамъ, можетъ быть довольно удовлетворительно. Напротивъ стереоскопическое соединеніе изображеній даетъ мнѣ снова дѣйствительное чувственное впечатлѣніе, которое бы мнѣ далъ объектъ въ отношеніи своихъ формъ и которое я долженъ былъ себѣ возстановлять въ памяти при простомъ изображеніи; поэтому стереоскопическимъ изображеніямъ принадлежитъ большая жизненность, какъ непосредственному чувственному впечатлѣнію предъ воспоминаніемъ.

Мнѣ кажется, что подобное же должно происходить въ мелодіяхъ, воспроизведенныхъ на простыхъ тонахъ. Если ихъ разъ слышали, то узнаютъ ихъ снова; ихъ можно во всякомъ случаѣ себѣ представить при достаточной живости музыкальной силы представленія, какъ бы онѣ звучали при исполненіи другими музыкальными инструментами; но имъ рѣшительно недостаетъ непосредственнаго чувственнаго впечатлѣнія музыкальнаго дѣйствія.

ГЛАВА XV.

Консонирующіе аккорды *тона.*

Первая форма, въ которой многоголосная музыка достигла извѣстной степени художественнаго совершенства, была полифонія. Особенный отличительный признакъ этого направленія основывается на томъ, что нѣсколько голосовъ слѣдуютъ другъ возлѣ друга, при чемъ каждый воспроизводитъ самостоятельную мелодію, будь она повтореніемъ прежде воспроизведенныхъ другими голосами, или же совершенно отъ нихъ отличная. При этихъ условіяхъ каждый голосъ долженъ подчиняться общему закону всякаго составленія мелодіи, именно закону тональности, по которому всѣ тоны полифоническаго сочиненія должны непремѣнно относится къ той же тоникѣ. Слѣдовательно каждый голосъ самъ по себѣ долженъ былъ исходить изъ тоники или изъ одного къ ней ближайше сроднаго тона и снова къ ней возвратиться. Дѣйствительно въ началѣ заставляли всѣ голоса многоголоснаго сочиненія слѣдовать съ тоникою или съ одною изъ ея октавъ. Такимъ образомъ для каждаго голоса былъ соблюденъ законъ тональности, но за то были принуждены заключать полифоническое сочиненіе въ униссонѣ.

Основаніе тому, почему высшія октавы могутъ сопровождать тонику въ заключеніи, заключается, какъ это мы видѣли въ предъидущей главѣ, въ томъ, что высшая октава есть только повтореніе части основнаго тона. Слѣдовательно если въ заключеніи мы прибавимъ къ тоникѣ одну изъ ея высшихъ октавъ, то мы ничего болѣе не дѣлаемъ, какъ усиливаемъ часть ея звука; вслѣдствіе этого къ ней не прибавляется никакого новаго звука и звуковое сочетаніе будетъ содержать только составныя части звука тоники.

Тоже самое относится точно также и къ другимъ частнымъ тонамъ звука тоники. Ближайшій шагъ къ развитію заключительнаго аккорда былъ въ томъ, что къ нему присоединили дуодециму тоники. Аккордъ $c - c' - g'$ не содержитъ такихъ составныхъ частей, кото-

рыя бы не были составными частями c и въ этомъ отношеніи упомянутый аккордъ удовлетворительно заключитъ музыкальную пьесу коей тоника c, потому что аккордъ можетъ быть употребляемъ, какъ представитель простаго звука c.

Аккордъ $c' - g' - c''$ можетъ быть также употребляемъ въ томъ же смыслѣ, потому что когда его воспроизводятъ, то присоединяется конечно слабо, но однакó же слышимо, комбинаціонный тонъ c и тогда вся масса звуковъ опять таки содержитъ только составныя части звука c. Конечно это сочетаніе, съ относительно слабымъ основнымъ тономъ, не соотвѣтствовало бы болѣе обыкновенному оттѣнку.

Напротивъ звуковое сочаніе $c - c' - f'$ или $c' - f' - c''$ не можетъ быть употребляемо какъ заключеніе пьесы коей тоника c, хотя эти аккорды также хорошо консонирують какъ и передъ этимъ названные, потому что f не есть составная часть звука c и потому что вслѣдствіе этого въ заключеніи рядомъ съ звукомъ тоники осталось бы нѣчто чуждое. Вѣроятно въ этомъ фактѣ слѣдуетъ искать основаніе, почему нѣкоторые теоретики среднихъ вѣковъ желали причислить кварту къ диссонансамъ. Но въ заключительномъ аккордѣ чистота консонанса еще недостаточна, чтобы сдѣлать интервалъ удобопримѣнимымъ. Къ этому присоединяется еще второе условіе, которое теоретики себѣ не вполнѣ уяснили, именно что тоны заключительнаго аккорда должны быть составными частями звука тоники; въ противномъ случаѣ ими пользоваться нельзя.

Подобно квартѣ непримѣнима въ заключительномъ аккордѣ и секста; примѣнима же большая терція, такъ какъ она встрѣчается въ звукѣ тоники, составляя ея пятый частный тонъ. Такъ какъ въ упомянутыхъ въ музыкѣ оттѣнкахъ обыкновенно еще слышимы пятый и шестой частные тоны, тогда какъ высшіе частные тоны совершенно не слышимы, или же по крайней мѣрѣ только весьма несовершенно и такъ какъ кромѣ того ближайшій слѣдующій тонъ, именно седьмой диссонируетъ съ пятымъ, шестымъ и восьмымъ, и его недостаетъ въ гаммѣ, то терціею оканчивается рядъ употребляемыхъ тоновъ въ заключительномъ аккордѣ. Дѣйствительно вплоть до начала XVIII столѣтія мы находимъ въ заключеніяхъ частью аккорды безъ терцій, частью мажорные аккорды съ большими терціями и послѣднія въ такихъ, коихъ гамма содержитъ не большую, а малую терцію тоники. Для совершенства гармоніи предпочли нарушить послѣдовательность гаммы, вводя въ заключительный аккордъ большую терцію. Малая терція тоники отнюдь не можетъ выступить въ звукѣ этой послѣдней какъ ея составная часть. Поэтому сначала она была также запрещена какъ и кварта и секста тоники. Нужно было сначала развить

новую сторону гармоническаго чувства для того, чтобы минорные аккорды могли быть допускаемы въ видѣ заключенія.

Заключеніе въ мажорномъ аккордѣ кажется тѣмъ болѣе удовлетворительнымъ, чѣмъ въ расположеніи тоновъ аккорда болѣе соблюдена послѣдовательность частныхъ тоновъ звука. Такъ какъ въ новѣйшей музыкѣ верхній голосъ, какъ наиболѣе выдѣляющійся изъ всѣхъ, обыкновенно ведетъ главную мелодію, то по правилу она должна оканчиваться тоникою. Принимая это обстоятельство во вниманіе, можно употреблять для заключенія аккорды, каковы слѣдующіе ниже и въ коихъ комбинаціонные тоны обозначены четвертями:

Въ 1 и 2 аккордахъ, всѣ ноты совпадаютъ съ верхними тонами низшаго *C*; при этихъ аккордахъ подобіе съ звукомъ *C* наиболѣе поразительно. Но вмѣстѣ съ тѣмъ для этого могутъ быть также примѣнимы болѣе тѣсныя расположенія аккорда, только бы они оставались подобными первымъ двумъ, въ томъ, что *C* былъ бы основнымъ тономъ, какъ это въ 3, 4 и 5 аккордахъ. Тогда они сохраняютъ еще достаточное подобіе съ звукомъ низшаго *C*, чтобы быть употребляемыми какъ его замѣщеніе. Кромѣ того этому способствуютъ комбинаціонные тоны, обозначенные въ 3, 4 и 5 аккордахъ четвертями, дѣлающіе слышимыми хотя и слабо нижнія части звука *C*. Но первыя расположенія дадутъ всегда болѣе удовлетворительное заключеніе. Стремленіе въ гармонической музыкѣ къ низкому заключительному тону весьма характеристично, и я полагаю, что нахожу этому основаніе въ данномъ объясненіи. Въ гомофоническихъ мелодіяхъ ничего подобнаго не существуетъ, а свойственно только басовому голосу многоголосныхъ предложеній.

Подобно тому какъ тоника въ качествѣ басоваго тона ея мажорнаго аккорда даетъ этому аккорду въ заключеніи сходство съ ея собственнымъ звукомъ и поэтому выдѣляется какъ наиболѣе существенный тонъ аккорда, точно также это случается и съ остальными мажорными аккордами, если нижайшій тонъ тѣснѣйшаго расположенія его трезвучія есть основной тонъ. Другіе мажорные аккорды, лежащіе въ мажорной гаммѣ построены на квартѣ и на квинтѣ *тона*, т. е въ *C*-Dur они будутъ *F* — *A* — *C* и *G* — *H* — *D*. Слѣдовательно если гармонія сочиненія будетъ только двигаться въ этихъ мажорныхъ аккордахъ, а основной тонъ постоянно въ басу, то она представитъ до нѣкоторой степени звукъ тоники, мѣняющійся съ ближайшими сродными звуками, т. е. съ звуками кварты и квинты. Вслѣдствіе этого такая гармонизація пріобрѣтаетъ весьма ясную наглядность и законность, хотя при болѣе длинныхъ сочиненіяхъ она и становится однообразною. Такого рода строеніе встрѣчается, какъ извѣстно, въ современной народной музыкѣ, народныхъ пѣсняхъ и танцахъ. Народъ и вообще люди ограниченнаго музыкальнаго развитія, требуютъ отъ музыки, которая имъ по сердцу, возможно простыхъ и понятныхъ отношеній. Но въ гармонической музыкѣ сродство тоновъ распознается чувствомъ вообще легче и рѣшительнѣе, чѣмъ въ гомофонической. Въ послѣдней чувство сродства тоновъ основывается только на томъ, что высота двухъ частныхъ тоновъ въ двухъ слѣдующихъ другъ за другомъ звукахъ одинакова. Но если мы слышимъ второй звукъ, то можемъ еще только припомнить первый и должны сдѣлать сравненіе посредствомъ памяти. Напротивъ въ консонансѣ сродство дано посредствомъ непосредственнаго чувственнаго ощущенія; здѣсь мы уже не должны прибѣгать къ помощи памяти, а какъ только не соблюдены вѣрныя отношенія, то слышимъ дрожанія и звуковое сочетаніе дѣлается грубымъ. Если два аккорда, имѣющіе общую ноту, слѣдуютъ другъ за другомъ, то ихъ сродство признается точно также не на сравненіи слабыхъ верхнихъ тоновъ, а на сравненіи двухъ самостоятельно воспроизведенныхъ нотъ, которыя имѣютъ ту же силу тона, какъ остальныя ноты воспроизводимыхъ аккордовъ.

Слѣдовательно если напр. я восхожу отъ *C* къ его секстѣ *A*, то въ одноголосной мелодіи я распознаю сродство обоихъ звуковъ тѣмъ что пятый верхній тонъ *C*, который уже довольно слабъ, равенъ третьему верхнему тону *A*. Но если *A* будетъ въ аккордѣ *F*—*A*—*c*, то я услышу прежнее *c* сильно звучащимъ въ аккордѣ и воспринимаю въ непосредственномъ ощущеніи что *A* и *C* консонируютъ и что оба суть составныя части того же звука *F*.

Если въ одноголосномъ пѣніи я перехожу мелодически отъ *C* къ *H* или къ *D*, то для того чтобы признать ихъ сродство, которое только во 2-й степени, я долженъ себѣ представить между ними родъ нѣмаго *G*. Но если я дѣйствительно воспроизведу *G* рядомъ съ обѣими нотами, то ихъ общее сродство съ *G* снова будетъ дано моему уху непосредственно ощутительнымъ образомъ.

Привычка къ сродствамъ весьма ясно выраженнымъ въ гармонической музыкѣ, имѣла неоспоримое вліяніе на нашъ музыкальный вкусъ. Одноголосное пѣніе не можетъ намъ болѣе нравиться; оно намъ кажется бѣднымъ и не совершеннымъ. Если же оно сопровождается простымъ бряцаніемъ основныхъ аккордовъ *тона* на гитарѣ, вы-

ражающихъ гармоническія сродства тоновъ, то мы напротивъ чувствуемъ удовлетвореніе. Съ другой стороны нельзя не признать, что вслѣдствіе болѣе явственнаго восприятія сродства тоновъ, въ гармонической музыкѣ выигралось гораздо большее разнообразіе музыкальныхъ соотношеній между тонами, потому что можно также пользоваться ихъ болѣе слабыми сродствами и потому, что кромѣ того вслѣдствіе этого сдѣлалось возможнымъ построеніе большихъ музыкальныхъ сочиненій, такъ какъ для бòльшаго строенія требуются также и сильнѣйшія связи для его поддержанія.

Возможно тѣсное и простѣйшее отношеніе тоновъ получается въ мажорномъ *тонѣ*, если всѣ тоны мелодіи являются какъ части звука частью тоники, частью же его верхней или нижней квинты. Вслѣдствіе этого всѣ сродства тоновъ приводятся къ тѣснѣйшимъ и ближайшимъ сродствамъ, вообще существующимъ въ музыкальной системѣ, а именно къ отношенію сродства квинты.

Отношеніе аккорда верхней квинты *G* къ тоническому аккорду *C*, различается до нѣкоторой степени отъ отношенія аккорда нижней квинты *F* къ тоническому аккорду. Если я слѣдую отъ *C*—*E*—*G* къ *G*—*H*—*d*, то я обращаюсь къ звуку, который уже былъ слышанъ въ первомъ аккордѣ и вступленіе котораго поэтому было хорошо подготовлено, тогда какъ одновременно посредствомъ этого же интервала я прихожу къ тѣмъ ступенямъ *тона*, которыя наиболѣе отдалены отъ тоники и имѣютъ къ ней только косвенное сродство. Слѣдовательно упомянутый переходъ даетъ весьма рѣшительное движеніе въ гармоніи, которое однако во всякомъ случаѣ обезпечено и имѣетъ хорошія основанія. Обратное происходитъ при слѣдованіи отъ *C*—*E*—*G* къ *F*—*A*—*c*. Звукъ *F* не подготовленъ въ первомъ аккордѣ; онъ долженъ быть вновь найденъ и вставленъ. Если это слѣдованіе сдѣлано, то оно какъ правильное и тѣсно сродное съ тоникою оправдывается тѣмъ, что въ аккордѣ *F* находятъ все такіе тоны, которые непосредственно съ тоникою сродны. Слѣдовательно въ переходѣ къ послѣднему аккорду недостаетъ чувства рѣшительнаго и увѣреннаго слѣдованія, которое находится въ переходѣ отъ трезвучія *C* къ трезвучію *G*. Напротивъ ему принадлежитъ родъ болѣе покойной и мягкой красоты, вѣроятно такъ какъ онъ остается въ предѣлахъ непосредственно сродныхъ тоникѣ тонахъ. Но первый интервалъ верхней квинты предпочитается именно въ народной музыкѣ и поэтому называется также доминантою тона; многія простѣйшія пѣсни и танцы движутся поперемѣнно, то въ тоническомъ аккордѣ, то въ аккордѣ доминанты. Вотъ почему устраиваемая для этой цѣли обыкновенная гармонія обыкновенно издаетъ при вытягиваніи мѣха тоническій аккордъ, а при обратномъ движеніи переходитъ въ

аккордъ доминанты. Напротивъ нижняя квинта тоники,—субдоминанта *тона*. Ея аккордъ входитъ вообще рѣже въ обыкновенныя народныя мелодіи; обыкновенно только разъ передъ заключеніемъ, чтобы возстановить равновѣсіе гармоніи, которая по большей части движется въ сторону доминанты и въ обратную сторону.

Если перерывъ пьесы кончается такъ, что переходятъ отъ доминантаккорда къ тоническому, и если этотъ послѣдній составляетъ заключеніе, то музыканты это называютъ полнымъ или автентическимъ кадансомъ. Здѣсь возвращаются къ тоникѣ отъ тѣхъ тоновъ, которые имѣютъ въ *тонѣ* слабѣйшее сродство съ тоникою и поэтому ей наиболѣе чужды. Слѣдовательно это есть рѣшительно выраженное движеніе отъ отдаленнѣйшихъ частей обратно къ центру системы, какъ это и должно наступить въ заключеніи. Но если переходятъ отъ аккорда субдоминанты къ тоническому, какъ къ заключительному аккорду, то это называютъ **полукадансомъ** (**плагіальнымъ кадансомъ**). Всѣ тоны субдоминантнаго трезвучія непосредственно сродны тоникѣ. При этомъ трезвучіи, мы уже находимся весьма близко къ тоникѣ передъ тѣмъ, какъ въ нее перейдти. Полукадансъ отвѣчаетъ болѣе спокойному ходу сочиненія обратно къ тоникѣ и имѣетъ менѣе рѣшительное движеніе.

Въ полномъ кадансѣ слышатъ только аккордъ доминанты и тоники; чтобы также возстановить равновѣсіе къ сторонѣ субдоминанты, пользуются еще, какъ это въ 1-мъ и 2-мъ примѣрахъ, субдоминантаккордомъ:

Это соединеніе даетъ **совершенный кадансъ**, въ который входятъ также снова всѣ тоны гаммы, такъ что въ немъ собранъ и установленъ окончательно весь *тонъ*.

Въ мажорномъ *тонѣ* какъ мы это видѣли, требованія тональности могутъ быть наиболѣе легко и совершенно согласованы съ требованіями гармоническаго совершенства. Тоны его гаммы могутъ быть всѣ употребляемы гармонически, какъ составныя части звука тоники, ея верхней или нижней квинты, такъ какъ названныя три главные тона строя, суть одновременно также основные тоны мажорныхъ аккордовъ. Это не относится въ той же степени къ остальнымъ древнимъ ладамъ.

квинтовый

1. Мажорный ладъ:

$f - \underline{a} - c - \underline{e} - g - \underline{h} - d$

Dur Dur Dur.

2. Квартовый ладъ:

$f - \underline{a} - c - \underline{e} - g - \overline{b} - d$

Dur Dur Moll.

3. Септимовый ладъ:

$f - \underline{a} - c - \overline{es} - g - \overline{b} - d$

Dur Moll Moll.

4. Терціевый ладъ (Moll):

$f - \overline{as} - c - \overline{es} - g - \overline{b} - d$

Moll Moll Moll.

5. Секстовый ладъ:

$b - \overline{des} - f - as - c - \overline{es} - g$

Moll Moll Moll.

Въ минорныхъ аккордахъ терція лежитъ внѣ звука тоники; она не можетъ проявляться какъ составная часть этого звука и поэтому со- отношеніе ея къ этому звуку не такъ непосредственно понятно, какъ соотношеніе мажорной терціи, что именно и составляетъ неудобство въ заключительномъ аккордѣ. Поэтому современная музыка народ- ныхъ танцевъ и народныя пѣсни написаны почти что всѣ въ мажор- ныхъ *тонахъ*, такъ что написанные въ *тонахъ* минорныхъ состав- ляютъ только весьма рѣдкія исключенія. Народъ именно требуетъ отъ своей музыки яснѣйшую и простѣйшую доступность, а это и даетъ мажорный *тонъ*. Въ гомофонической музыкѣ такого преимущества мажорнаго *тона* не существовало. Поэтому то, мы и находимъ гармо- ническое сопровожденіе хораловъ, написанныхъ въ мажорномъ *тонѣ*, уже начиная съ XVI-го столѣтія, разработаннымъ довольно полно, такъ что многія изъ нихъ вполнѣ отвѣчаютъ и современному раз- витому музыкальному чувству, тогда какъ гармоническая разработка минорнаго *тона* или остальныхъ церковныхъ *тоновъ* была въ тоже

самое время еще весьма неопредѣленною и кажется намъ теперь до- вольно чуждою.

Въ мажорномъ аккордѣ $c - \underline{e} - g$, мы можемъ разсматривать g и $\underline{e}$ какъ составныя части звука c; но не можемъ разсматривать c и g, какъ составныя части звука $\underline{e}$; ни c и $\underline{e}$, какъ таковыя же звука g. Слѣдовательно мажорный аккордъ $c - \underline{e} - g$ имѣетъ только одно значеніе; онъ можетъ быть сравниваемъ только съ звукомъ c и по- этому c есть господствующій тонъ въ аккордѣ, его основный тонъ, или по обозначенію Рамо,—основной басъ и ни одинъ изъ обо- ихъ другихъ тоновъ аккорда не можетъ занять его мѣсто.

Въ минорномъ аккордѣ $c - \overline{es} - g$, g есть составная часть звука c и звука $\overline{es}$. Ни $\overline{es}$, ни c не попадаются въ одномъ изъ двухъ дру- гихъ звуковъ. Слѣдовательно g, во всякомъ случаѣ тонъ зависимый. Напротивъ упомянутый минорный аккордъ можно разсматривать какъ звукъ c, къ которому присоединенъ чуждый тонъ $\overline{es}$, или какъ звукъ $\overline{es}$ въ который вставленъ тонъ c. Бываютъ оба случая. Но первое объясненіе наиболѣе обыкновенное и господствующее, потому что если мы разсматриваемъ аккордъ какъ звукъ c, то мы въ немъ на- ходимъ g какъ третій частный тонъ и только вмѣсто слабѣйшаго пятаго частнаго тона $\underline{e}$, мы находимъ чуждый тонъ $\overline{es}$. Но если мы примемъ аккордъ какъ звукъ $\overline{es}$, то хотя слабый пятый частный тонъ и вѣрно замѣщенъ посредствомъ g, но мы находимъ вмѣсто сильнѣй- шаго третьяго, который долженъ бы былъ быть $\overline{b}$, чуждый тонъ c. По- этому въ современной музыкѣ мы находимъ минорный аккордъ $c - \overline{es} - g$ употребляемымъ такъ, что съ c обращаются какъ съ его основнымъ то- номъ или основнымъ басомъ и аккордъ замѣщаетъ немного измѣненный или разстроенный звукъ c; но аккордъ въ расположеніи $\overline{es} - g - c$ (лучше $\overline{es} - g - \overline{c}$) встрѣчается также въ *тонѣ* $\overline{b}$-Dur, какъ замѣститель ак- корда субдоминанты $\overline{es}$. Рамо называетъ его тогда аккордомъ боль- шой сексты и судитъ правильнѣе, чѣмъ большая часть современныхъ теоретиковъ тѣмъ, что за основной басъ онъ принимаетъ $\overline{es}$.

Въ тѣхъ случаяхъ когда необходимо точно установить одно или другое изъ этихъ значеній минорнаго аккорда, можно этого достиг- нуть тѣмъ, что выдѣляютъ основной тонъ, частью его низкимъ рас- положеніемъ, частью числомъ присоединенныхъ къ нему голосовъ. Низкое расположеніе основнаго тона даетъ тѣмъ тонамъ, которые входятъ въ его звукъ, непосредственный характеръ частныхъ тоновъ, тогда какъ онъ самъ не можетъ считаться частнымъ тономъ друга- го значительно выше лежащаго тона. Въ особенности въ первой по- ловинѣ прошлаго столѣтія, когда впервые начали употреблять ми- норные аккорды въ заключеніи, композиторы стараются выдѣлять съ значительною силою тонику передъ ея терціею. Такъ въ ораторіяхъ

Генделя постоянно находятъ, что тамъ гдѣ онъ дѣлаетъ заключеніе минорнымъ аккордомъ, большинство голосовъ и инструментовъ сосредоточиваются на тоникѣ, тогда какъ минорная терція дается или только однимъ изъ голосовъ, или же только сопровожденіемъ фортепіано, или органа. Въ минорныхъ *тонахъ*, у Генделя встрѣчаются гораздо рѣже тѣ случаи, когда только два голоса берутъ тонику заключительнаго аккорда, одинъ его квинту, а другой терцію; въ мажорныхъ же аккордахъ это распредѣленіе составляетъ правило.

Если минорный аккордъ, въ своемъ второмъ зависимомъ значеніи, является какъ $\overline{es}$ — g — c, съ основнымъ тономъ $\overline{es}$, то $\overline{es}$ выдѣляется какъ основной тонъ, частью положеніемъ въ басу, частью своимъ близкимъ сродствомъ къ тоникѣ $\overline{b}$. Современная музыка ободитъ b, какъ квинту $\overline{es}$; отъ этого аккордъ становится диссонирующимъ въ формѣ $\overline{es}$—g—$\overline{b}$—$\overline{c}$.

Уклоненіе старинныхъ композиторовъ отъ заключенія въ минорномъ аккордѣ объясняется частью нарушеніемъ консонанса этого аккорда, происходящимъ отъ фальшивыхъ комбинаціонныхъ тоновъ, частью же только что упомянутымъ обстоятельствомъ, по которому минорный аккордъ не воспроизводитъ вѣрный звукъ тоники, а смѣшанный съ другими чуждыми тонами. Къ терціи, которая не входитъ въ звукъ тоники, прибавляются еще комбинаціонные тоны, которые точно также не входятъ въ звукъ тоники. Пока чувство тональности было понимаемо только въ томъ смыслѣ, что опредѣленный отдѣльный тонъ или звукъ разсматривался какъ соединяющій центръ *тона*, нельзя было дѣйствительно составить удовлетворительнаго заключенія, если оно не изображало просто и вѣрно звукъ тоники и не заключало ничего чуждаго этому звуку. Сначала требовалось дальнѣйшее развитіе музыкальнаго чувства для самостоятельнаго значенія аккордовъ въ *тонѣ*, чтобы заключеніе въ минорномъ аккордѣ, несмотря на его составныя части, чуждыя звуку тоники, могло быть оправдано.

Гауптманнъ *) даетъ другое объясненіе избѣганія минорнаго аккорда въ заключеніи. Онъ полагаетъ, что до употребленія септаккордовъ, не было голоса, который бы могъ приличнымъ образомъ перейдти въ малую терцію. Дѣло въ томъ, что если заключительный кадансъ состоитъ изъ аккордовъ G — $\underline{H}$ — D и C — $\overline{Es}$ — G, то только D перваго аккорда могло бы мелодически перейдти въ $\overline{Es}$ втораго аккорда, но это бы звучало какъ переходъ въ $\overline{Es}$-Dur вводнаго тона D къ его основному тону $\overline{Es}$ и произвело бы чувство *тона* $\overline{Es}$-Dur. Если мы желаемъ допустить, что такое отношеніе ввод-

*) Harmonik und Metrik. Leipzig 1853, S. 216.

наго тона особенно привлекаетъ вниманіе слушателя на оба разсматриваемые тона и можетъ въ извѣстной степени нарушить чувство *тона*, то, если бы это было нужно, могло бы найдтись множество способовъ голосоведенія чрезъ диссонансы для достиженія малой терціи заключительнаго аккорда, безъ септаккорда. Именно въ употреблявшемся такъ часто плагіальномъ заключеніи

$$c — \overline{es} — g — c$$
$$F — f — \overline{as} — c$$
$$C — es — g — \underline{c}$$

переходъ кварты f къ минорной терціи $\overline{es}$ происходитъ совершенно плавно. Съ того именно времени, какъ начали употреблять септаккорды, септима F, аккорда G — $\underline{H}$ — D — F необходимо должна была бы разрѣшиться въ терцію $\underline{Es}$ заключительнаго аккорда. Напротивъ, тамъ гдѣ она встрѣчается въ сочиненіяхъ XV-го столѣтія *), ее заставляютъ или восходить въ квинту заключительнаго аккорда или нисходить къ большой терціи E, какъ это и было до временъ Баха.

Въ тринадцатой главѣ мы характеризовали новѣйшую гармоническую музыку въ противуположность средневѣковой полифонической, тѣмъ, что она развила чувство самостоятельнаго значенія аккордовъ. Въ самомъ дѣлѣ мы уже находимъ у Палестрины, Габріели, еще болѣе у Монтеверде и у первыхъ оперныхъ композиторовъ, различныя постепенности благозвучія аккордовъ, тщательно примѣненныя для достиженія цѣли выраженія. Но упомянутые маэстро не обращаютъ вниманія на сродство слѣдующихъ другъ за другомъ аккордовъ. Эти аккорды часто слѣдуютъ другъ за другомъ совершенно безсвязно скачками и единственная ихъ связь есть *тонъ*, изъ ступеней котораго они всѣ составлены.

Преобразованіе, которое происходило отъ XVI-го столѣтія до начала XVIII-го, можно, я полагаю, опредѣлить тѣмъ, что развилось чувство для самостоятельнаго сродства аккордовъ между собою, и что для ряда консонирующихъ аккордовъ, допускаемыхъ *тономъ*, искался и былъ найденъ одинъ общій связывающій центръ въ тоническомъ аккордѣ. Для аккордовъ здѣсь повторилось тоже, что мы говорили прежде о построеніи гаммъ. Между ступенями гаммы искали также сродства, сначала цѣповиднаго, потомъ такого, которое связывалось съ однимъ центромъ тоникою.

*) Смотри примѣръ Антона Брумеля (Anton Brumel) у Форкеля (Forkel, Geschichte der Musik, Bd, II, S. 647). Другой примѣръ съ плагіальнымъ заключеніемъ Жоскина (Josquin), тамъ же, стр. 550, гдѣ голосоведеніе могло бы безъ затрудненія идти къ минорной терціи.

Непосредственно сродными, я называю два аккорда, которые имѣютъ одинъ или нѣсколько общихъ тоновъ.

Сродные во второй степени суть аккорды непосредственно оба сродные съ тѣмъ же консонирующимъ аккордомъ.

Слѣдовательно $c - \underline{e} - g$ и $g - \underline{h} - d$, также какъ и $c - \underline{e} - g$ и $\underline{a} - c - \underline{e}$, непосредственно сродные; но $g - \underline{h} - d$ и $\underline{a} - c - e$ сродные во второй степени.

Если два тона двухъ аккордовъ однозначащи, то ихъ сродство болѣе тѣсное, чѣмъ если однозначащимъ былъ бы одинъ только тонъ. Слѣдовательно $c - \underline{e} - g$ и $\underline{a} - c - \underline{e}$ ближе сродны, чѣмъ $c - \underline{e} - g$ и $g - \underline{h} - d$.

Тоническимъ аккордомъ въ ладѣ (Tongeschlecht) конечно можетъ быть всегда выбранъ только одинъ, который изображаетъ болѣе или менѣе хорошо звукъ тоники, т. е. тотъ мажорный или минорный аккордъ, коего основной тонъ есть тоника, потому что совершенно также какъ тоника, будучи соединяющимъ центромъ тоновъ въ нормально составленной одноголосной мелодіи, должна быть слышима на первомъ ударяемомъ дѣленіи такта начала и заключенія, такъ чтобы мелодія отъ нея исходила и снова къ ней возвращалась, точно также тоже самое относится и къ тоническому аккорду въ предѣлахъ послѣдовательнаго ряда аккордовъ. Въ обоихъ названныхъ мѣстахъ сочиненія мы не только желаемъ слышать тонику, сопровожденную любымъ аккордомъ, но мы допускаемъ какъ сопровожденіе тоники, только тоническій аккордъ, коего основной тонъ,—тоника. Еще въ XVI столѣтіи это было иначе, какъ это показываетъ приведенный на стр. 353 примѣръ изъ *Stabat Mater* Палестрины.

Если тоническій аккордъ мажорный, то господство тоники надъ другими тонами согласуется безъ всякаго затрудненія съ условіями господства тоническаго аккорда надъ другими аккордами, потому что въ то время какъ сочиненіе начинается и кончается тоническимъ аккордомъ, оно одновременно начинается и кончается чистымъ несмѣшаннымъ звукомъ тоники. Напротивъ, если тоническій аккордъ минорный, то нельзя такъ вполнѣ удовлетворить одновременно всѣмъ условіямъ. Надо немного уклониться отъ условій тональности, чтобы имѣть возможность допустить минорную терцію тоническаго аккорда въ началѣ и въ заключеніи. Въ началѣ XVIII го столѣтія мы еще находимъ у *Себастіана Баха* минорный аккордъ въ концѣ его прелюдій, потому что онѣ были только интродукціями, но не находимъ его употребленнымъ въ концѣ фугъ, хораловъ и другихъ вполнѣ законченныхъ сочиненій. У *Генделя* и даже въ церковныхъ сочиненіяхъ *Моцарта*, заключеніе съ минорнымъ аккордомъ попеременно употребляется съ такими заключеніями, которыя или вовсе не содер-

жатъ терціи или же содержатъ мажорную терцію. Кромѣ того у послѣдне названнаго композитора, это никакъ нельзя принять за внѣшнее подражаніе стариннымъ пріемамъ, потому что во вниманіе всегда принимается выраженіе сочиненія. Если въ заключеніе сочиненія, движущагося въ минорномъ *тонѣ*, войдетъ мажорный аккордъ, то онъ всегда звучитъ въ качествѣ внезапнаго и неожиданнаго уясненія смутнаго характера минорнаго *тона*; послѣ выраженія озабоченности, печали и безпокойства минора, такое заключеніе кажется развлекающимъ, освѣжающимъ и примиряющимъ. Поэтому тамъ гдѣ молитва о вѣчномъ покоѣ умершихъ кончается словами: «Et lux perpetua luceat eis», или гдѣ *Confutatis Maledictis* кончается молитвою:

Oro supplex et acclinis
Cor contritum quasi cinis
Gere curam mei finis,

заключеніе въ мажорномъ аккордѣ умѣстно. Но конечно такой аккордъ для нашего настоящаго музыкальнаго чувства имѣетъ постоянно нѣчто неожиданное, хотя его появленіе то развиваетъ удивительную красоту и торжественность, то вводитъ лучъ надежды въ тьму глубочайшаго сокрушенія. Если чувство безпокойства существуетъ до конца, какъ въ *Dies irae* реквіема *Моцарта*, то минорный аккордъ, въ которомъ существуетъ неразрѣшенное противорѣчіе, если его употребляютъ въ видѣ заключительнаго аккорда, умѣстенъ для окончанія. Церковныя сочиненія болѣе неопредѣленнаго характера, *Моцартъ* обыкновенно заключаетъ аккордомъ безъ терціи. Подобные примѣры находятся во множествѣ у *Генделя*. Слѣдовательно, хотя оба маэстро и вполнѣ стояли на высотѣ современнаго музыкальнаго чувства и одинаково способствовали къ довершенію строенія современной музыкальной системы, тѣмъ не менѣе имъ не было совершенно чуждо чувство, которое мѣшало стариннымъ композиторамъ употреблять минорную терцію тоники въ заключительномъ аккордѣ. Но они изъ этого не дѣлали неизмѣннаго правила, но примѣнялись къ выраженію и характеру сочиненія, равно какъ и къ смыслу словъ, которыми они должны были оканчивать.

Къ художественно связанному гармоническому построенію наиболѣе приспособлены тѣ лады, которые могутъ дать наибольшее число сродныхъ какъ между собою, такъ и съ тоническимъ аккордомъ, консонирующихъ аккордовъ. Такъ какъ въ тѣснѣйшемъ расположеніи и въ простѣйшей формѣ всѣ консонирующіе аккорды суть трезвучія, составленныя изъ большой и малой терціи, то мы находимъ всѣ консонирующіе аккорды *тона* просто тѣмъ, что распредѣляемъ всѣ ихъ ступени по терціямъ, какъ это показано въ слѣ-

дующемъ обзорѣ. Скобки соединяютъ отдѣльныя консонирующія трезвучія, тоническій аккордъ обозначенъ болѣе крупною печатью:

1) Мажорный ладъ:

d — *f* — *a* — **c** — **e** — **g** — *h* — *d*

2) Квартовый ладъ:

b — *d* — *f* — *a* — **c** — **e** — **g** — *b* — *d*

3) Септимовый ладъ:

b — *d* — *f* — *a* — **c** — **es** — **g** — *b* — *d*

4) Терціевый ладъ:

b — *d* — *f* — *as* — **c** — **es** — **g** — *b* — *d*

5) Секстовый ладъ:

b — *des* — *f* — *as* — **c** — **es** — **g** — *b*.

Въ этомъ обзорѣ приняты во вниманіе различныя настройки секунды и септимы *тона*, которыя мы нашли для гомофонической музыки въ построеніи гаммъ. Но здѣсь, за исключеніемъ секстоваго лада, мы однако замѣчаемъ, что уже аккорды каждаго *тона*, непосредственно сродные тоническому, заключаютъ всѣ ступени гаммы. Секунда и септима тоники входятъ во первыхъ въ аккордъ *g*, который непосредственно сроденъ тоническому и во вторыхъ въ аккорды, содержащіе *F*, но которые не непосредственно сродны тоническому. Отъ этого въ гармонической музыкѣ вставные тоны гаммы сродные доминантѣ пріобрѣтаютъ значительное превосходство передъ тонами сродными субдоминантѣ. Тамъ гдѣ непосредственныя сродства аккордовъ достаточны для опредѣленія ступеней, мы должны будемъ ихъ предпочесть сродствамъ не непосредственнымъ. Слѣдовательно, если мы ограничимся тѣми аккордами, которые непосредственно сродны тоническому, то получимъ слѣдующій рядъ ладовъ:

1) Мажорный ладъ:

f — *a* — **c** — **e** — **g** — *h* — *d*

2) Квартовый ладъ:

f — *a* — **c** — **e** — **g** — *b* — *d*

3) Септимовый ладъ:

f — *a* — **c** — **es** — **g** — *b* — *d*

4) Терціевый ладъ:

f — *as* — **c** — **es** — **g** — *b* — *d*

5) Секстовый ладъ:

des — *f* — *as* — **c** — **es** — **g** — *b*.

Одинъ взглядъ на этотъ послѣдній обзоръ показываетъ, что полнѣйшіе и законченнѣйшіе ряды аккордовъ относятся къ мажорному ладу и къ терціевому ладу (Moll); поэтому эти оба лада гораздо болѣе примѣнимы остальныхъ ладовъ для гармонической обработки. Это составляетъ также причину, на которой основывается ихъ предпочтеніе въ современной музыкѣ.

Отъ этого настройка дополнительныхъ тоновъ гаммы, покрайней мѣрѣ для четырехъ первыхъ ладовъ также, окончательно установливается. Гауптманнъ разсматриваетъ, какъ я думаю, вполнѣ вѣрно, только тонъ *D*, составляющій въ *F* невѣрную терцію, какъ существенную составную часть гаммъ *C*-Dur и *C*-Moll; поэтому аккордъ $D - F - \underline{A}$ долженъ быть разсматриваемъ какъ диссонирующій. Этотъ аккордъ, воспроизведенный въ упомянутой настройкѣ, диссонируетъ дѣйствительно весьма рѣзко. Напротивъ Гауптманнъ допускаетъ мажорный *тонъ* клонящійся къ сторонѣ нижней доминанты и содержащій вмѣсто *D* тонъ $\underline{D}$. Я считаю этотъ способъ представленія за весьма счастливо выбранное выраженіе настоящаго порядка вещей. Если консонирующій аккордъ $\underline{D} - F - \underline{A}$ входитъ въ предложеніе, то нельзя непосредственно и безъ промежуточной ступени возвратиться къ тоническому аккорду $C - E - G$. Это былъ бы всегда неподготовленный гармоническій скачёкъ. Слѣдовательно, если это разсматривается какъ начинающаяся модуляція за предѣлы *тона* *C*-Dur, т. е. за предѣлы непосредственнаго сродства его тоническаго аккорда, то это въ порядкѣ вещей. Въ минорномъ *тонѣ* этому бы отвѣчала модуляція въ аккордѣ $\overline{Des} - F - \overline{As}$. Конечно въ современной темпераціонной настройкѣ консонирующій аккордъ $\underline{D} - F - \underline{A}$ не различается отъ диссонирующаго $D - F - \underline{A}$ и поэтому смыслъ этого различія, сдѣланнаго Гауптманномъ, развитъ не совсѣмъ ясно.

Что касается, другаго, имѣющаго два значенія дополнительнаго тона $\bar{b}$, который можетъ встрѣчаться въ аккордахъ $\overline{es} - g - \bar{b}$ и $g - \bar{b} - d'$,

то было уже упомянуто въ предъидущей главѣ, что при восходящемъ
движеніи, на его мѣсто почти всегда обыкновенно входитъ *h* даже
и въ гомофонической музыкѣ. Употребленіе *h* также благопріят-
ствуется гармоническими соображеніями независимо отъ рода мело-
дическаго движенія. Передъ этимъ уже было упомянуто, что если оба
слабо сродные тона гаммы, входятъ какъ составныя части звука
доминанты, то ставятся въ совершенно тѣсное отношеніе къ тоникѣ.
Но это можетъ случиться только съ звуками мажорнаго аккорда
g — *h* — *d*, а не минорнаго аккорда *g* — *b* — *d*. Тоны *b* и *d* сами по себѣ
также близко сродны съ *c* какъ *h* и *d*. Но разсматривая по-
слѣдніе тоны какъ части звука *g*, мы соединяемъ ихъ тѣмъ же близ-
кимъ сродствомъ къ *c*, которое имѣетъ *g*. Поэтому въ новѣйшей му-
зыкѣ вездѣ гдѣ тонъ *b* входитъ въ *c*-moll, какъ составная часть
трезвучія доминанты или однаго изъ замѣняющихъ его диссони-
рующихъ аккордовъ, эту ноту измѣняютъ въ *h*, и смотря по ходу ме-
лодіи и гармоніи употребляютъ то *b*, то *h*, чаще же послѣдній тонъ,
какъ я уже замѣтилъ выше при построеніи минорныхъ гаммъ. По-
средствомъ этого систематическаго употребленія большой септимы
h тона вмѣсто малой *b*, новѣйшій минорный *тонъ* и отличается
отъ болѣе древняго гиподорійскаго или терціеваго лада. Слѣдова-
тельно здѣсь опять таки жертвуется нѣчто изъ послѣдовательности
гаммы для того, чтобы крѣпче соединить гармонію.

Сцѣпленіе консонирующихъ аккордовъ терціеваго лада конечно
становится менѣе значительнымъ, когда введеніемъ тона *h* мы пре-
образовываемъ терціевый ладъ въ нашъ минорный. Вмѣсто цѣпи

f — *as* — **c** — **es** — **g** — *b* — *d*

мы имѣемъ въ минорѣ слѣдующую:

f — *as* — **c** — **es** — **g** — *h* — *d*

меньшую на одно трезвучіе. Тѣмъ не менѣе мѣна между тонами
b и *h* все же остается свободною.

Введеніе вводнаго *h* въ гамму *c*-Moll вызвало въ этомъ *тонѣ* но-
вое затрудненіе для полнаго каданса. Если аккорды *g* — *h* — *d* и
c — *es* — *g* слѣдуютъ другъ за другомъ, то первый изъ нихъ мажор-
ный аккордъ съ полнымъ благозвучіемъ, послѣдній же минорный
съ нарушеннымъ благозвучіемъ; это выдѣляется еще болѣе контра-
стомъ съ предъидущимъ аккордомъ. Но въ заключительномъ аккордѣ
полный консонансъ составляетъ существенную необходимость потому,
что слушатель долженъ въ немъ найдти полнѣйшее удовлетвореніе.
Поэтому прежде чѣмъ возможно было допустить такого рода заклю-

ченіе, надо было сначала изобрѣсти септаккорды, посредствомъ ко-
торыхъ измѣняютъ въ диссонирующій аккордъ трезвучіе доминанты.

Изъ даннаго изложенія слѣдуетъ, что какъ только достигаютъ
тѣснаго сцѣпленія свойственныхъ *тону* аккордовъ на основаніи того
же принципа по которому установлено сцѣпленіе тоновъ гаммы, слѣ-
довательно, какъ только желаютъ, чтобы всѣ консонирующія трез-
вучія гармоническаго построенія были сродны такимъ же образомъ
одному изъ нихъ, т. е. тоническому трезвучію, какъ всѣ звуки гаммы
сродны тоникѣ, то соединеніе обоихъ требованій приведетъ только
къ двумъ ладамъ, которые выполняютъ эти требованія наиболѣе со-
вершенно, именно къ ладамъ: мажорному и минорному.

Мажорный ладъ выполняетъ наиболѣе совершенно требованія
сродства аккордовъ и звуковъ. Онъ имѣетъ четыре трезвучія непо-
средственно сродныхъ тоническому аккорду:

f — *a* — **c** — **e** — **g** — *h* — *d*

Его гармонизацію можно вести какъ показано и это бываетъ, какъ
было сказано, преимущественно въ легко доступныхъ народныхъ
произведеніяхъ такъ, чтобы всѣ тоны являлись какъ части трехъ
мажорныхъ трезвучій заключающихся въ этой системѣ, т. е. мажор-
наго аккорда тоники, доминанты и субдоминанты. Такіе мажорные
аккорды съ низко лежащимъ основнымъ тономъ, кажутся для уха
какъ усиленія звуковъ тоники, доминанты и субдоминанты, которыя
опять таки соединены между собою тѣснѣйшимъ квинтовымъ срод-
ствомъ. Такимъ образомъ въ этомъ ладѣ все можетъ быть приведено
къ тѣснѣйшимъ и ближайшимъ сродствамъ, существующимъ въ му-
зыкѣ. Кромѣ того, такъ какъ тоническій аккордъ мажорнаго лада
непосредственно и вполнѣ изображаетъ звукъ тоники, то оба тре-
бованія общаго господства тоники и тоническаго аккорда совпа-
даютъ въ одно, не допуская возраженія, при чемъ измѣненія гаммы
излишни.

Слѣдовательно мажорный ладъ имѣетъ характеръ совершеннѣйшей,
мелодичнѣйшей и самой гармоничной послѣдовательности, наиболь-
шей простоты и ясности всѣхъ отношеній. Къ этому присоединяется
еще и то, что мажорные аккорды, которые въ немъ господствуютъ,
отличаются полнымъ и ненарушеннымъ благозвучіемъ, когда выби-
раютъ такія изъ нихъ обращеній, въ которыхъ они не даютъ не долж-
ныхъ комбинаціонныхъ тоновъ.

Мажорная гамма чисто діатоническая и снабжена восходящимъ
вводнымъ тономъ большою септимою, отчего тонъ гаммы всего слабѣе
сродный къ тоникѣ поставленъ къ ней въ близкое мелодичное отно-
шеніе.

Въ предѣлахъ *тона*, къ господствующимъ мажорнымъ аккордамъ примыкаютъ еще два, тѣсно сродные съ тоническимъ, минорныхъ аккорда, которыми можно воспользоваться для введенія разнообразія въ рядѣ аккордовъ. мажорныхъ.

Минорный ладъ стоитъ во многихъ отношеніяхъ ниже мажорнаго. Рядъ аккордовъ его современной формы слѣдующій:

$$f - \overline{as} - c - \overline{es} - g - \underline{h} - d$$

Минорные аккорды не представляютъ такъ вѣрно и просто звукъ ихъ основнаго тона, какъ мажорные; ихъ терція скорѣе выдѣляется изъ этого звука. Только трезвучіе доминанты, заключающее въ себѣ оба дополнительные тона гаммы, есть мажорный аккордъ. Поэтому, тамъ гдѣ эти оба тона являются какъ составныя части трезвучія доминанты, т. е. какъ составныя части звука доминанты, они связаны съ тоникою посредствомъ тѣснаго квинтоваго сродства. Напротивъ трезвучія тоники и субдоминанты не представляютъ просто звука этихъ нотъ, а сопровождены своими терціями, которыя не могутъ быть подведены къ тѣсному къ тоникѣ сродству. Слѣдовательно въ минорномъ ладѣ сцѣпленіе тоновъ съ тоникою посредствомъ гармонизаціи не можетъ быть приведено къ такимъ точнымъ сродствамъ какъ въ мажорномъ ладѣ.

Требованіе тональности не можетъ быть согласовано такъ просто съ господствомъ тоническаго аккорда, какъ въ мажорномъ ладѣ. Если предложеніе заключается минорнымъ аккордомъ, то возлѣ звука тоники остается еще другой звукъ, не составляющій части перваго. Отсюда происходитъ столь долго продолжающаяся неувѣренность композиторовъ, касательно допущенія минорнаго аккорда въ заключеніи.

Господствующіе минорные аккорды не имѣютъ чистой явственности ненарушеннаго благозвучія мажорныхъ аккордовъ, потому что они сопровождены не входящими въ аккордъ комбинаціонными тонами.

Минорная гамма заключаетъ въ себѣ трудно выполняемый для пѣвца скачекъ $as - \underline{h}$, коего протяженіе болѣе цѣлыхъ тоновъ діатонической гаммы и отвѣчаетъ численному отношенію $\frac{75}{64}$. Чтобы минорную гамму сдѣлать мелодичною, она должна претерпѣвать при восхожденіи и нисхожденіи различныя измѣненія, которыя уже были оговорены въ предъидущей главѣ.

Поэтому минорная система не представляетъ ту простую, ясную и легко понимаемую послѣдовательность, какъ мажорный ладъ; она составилась какъ бы вслѣдствіе противурѣчія различныхъ требованій

закона тональности и сцѣпленія гармоническаго построенія. Поэтому она также гораздо болѣе измѣнчива и болѣе способна къ модуляціямъ въ другіе *тоны*.

Мнѣніе, что будто минорная система менѣе совершенно послѣдовательна мажорной системы, возбудитъ оппозицію со стороны многихъ музыкальныхъ теоретиковъ, точно также какъ представленное мною и уже до меня другими физиками предположеніе, что благозвучіе минорныхъ трезвучій вообще менѣе совершенно мажорныхъ. Въ новѣйшихъ сочиненіяхъ ученія о гармоніи находятся многіе ревностные доводы противуположнаго мнѣнія. Но я полагаю, что исторія музыки, чрезвычайно медленное и осторожное развитіе минорной системы въ XVI и XVII столѣтіяхъ, осторожное употребленіе минорнаго заключенія Генделемъ, уклоненіе отъ такого же заключенія встрѣчающееся частью и у Моцарта, все это вмѣстѣ не можетъ оставить никакого сомнѣнія, что художественное чувство великихъ композиторовъ говорило въ пользу нашихъ выводовъ. Къ этому также прибавляется чередованіе большой и малой септимы, большой и малой сексты *тона*, быстро входящія и быстро мѣняющіеся модуляціи и наконецъ, что всего рѣшительнѣе,—употребленіе мажорной системы въ народѣ. Въ народныя мелодіи могутъ обратиться только мелодіи съ ясными очевидными отношеніями. Стоитъ только посмотрѣть сборникъ любимыхъ въ настоящее время пѣсенъ тѣхъ классовъ западныхъ народовъ, которые имѣютъ возможность часто слушать гармоническую музыку, т. е. студентовъ, солдатъ, работниковъ; на сто пѣсенъ въ мажорѣ, можетъ быть найдутъ одну или двѣ въ минорѣ, и эти послѣднія по большей части старинныя народныя мелодіи, дошедшія еще со времени господства одноголоснаго пѣнія. Характеристично также и то, какъ меня увѣрялъ одинъ опытный учитель пѣнія, что ученики посредственнаго музыкальнаго таланта выучиваются попадать съ гораздо большимъ трудомъ на минорную терцію, чѣмъ на мажорную.

Однако я не думаю, чтобы въ этомъ выводѣ заключалась второстепенность минорной системы. Мажорная система хорошо приспособлена для всѣхъ опредѣленныхъ, самихъ по себѣ, ясныхъ настроеній, какъ для сильно энергичныхъ, такъ и для нѣжныхъ и сладостныхъ, даже и для печальныхъ, когда печаль перешла въ состояніе пламенной и умитворяющей надежды. Но упомянутая система никакъ не подходитъ къ мрачнымъ, безпокойнымъ и неизъясненнымъ настроеніямъ, или къ выраженію неопредѣленнаго, ужаснаго или мистичнаго, грубаго и вообще всего, что не подходитъ къ чистой художественной красотѣ; для такихъ настроеній мы употребляемъ минорную систему съ ея неопредѣленными благозвучіями, съ ея измѣн-

чивою гаммою, удобоподвижными модуляціями и менѣе явственнымъ принципомъ ея строенія для слуха. Для такого выраженія мажорная система была бы неподходящею формою и поэтому минорная система, составляя, такъ сказать, ея дополненіе для передачи извѣстныхъ настроеній, находитъ полное художественное оправданіе.

Гармоническія особенности современныхъ *тоновъ* выдѣлятся наилучшимъ образомъ, если мы ихъ сравнимъ съ гармонизаціей остальныхъ старинныхъ ладовъ.

Между мелодичными ладами, лидійскій ладъ Грековъ (іонійскій церковный *тонъ*), единственный, который подобно нашему мажору имѣетъ въ большой септимѣ восходящій вводный тонъ. Четыре остальные лада имѣютъ въ сущности малыя септимы, которыя уже въ позднѣйшія времена среднихъ вѣковъ стали измѣнять въ большія септимы, чтобы слабо сродную къ тоникѣ септиму связать съ нею тверже въ качествѣ вводнаго тона въ заключеніи.

Затѣмъ, что касается квартоваго лада (іонійскаго лада Грековъ, миксолидійскаго церковнаго *тона*), то онъ различается отъ мажорнаго лада только малою септимою; если ее измѣняютъ въ большую септиму, то между обоими ладами уничтожается всякое различіе. Если тоника g, то тоническій мажорный аккордъ можетъ быть только $g - \underline{h} - d$ и цѣпь аккордовъ неизмѣненнаго *тона* была бы слѣдующею:

$$c - e - g - \underline{h} - d - \overline{f} - a.$$

Если въ этомъ *тонѣ* составить полный кадансъ, какъ это въ нижеслѣдующихъ 1-мъ и 2-мъ примѣрахъ, то такъ какъ ему недостаетъ вводнаго тона, онъ звучитъ вяло, даже и въ томъ случаѣ, если доминантаккордъ расширяютъ въ септаккордъ.

Квартовый ладъ.

Второй кадансъ, въ которомъ вводный тонъ лежитъ въ верхнемъ голосѣ, звучитъ еще менѣе ясно перваго, въ которомъ упомянутый тонъ болѣе скрытъ. Въ этихъ примѣрахъ f тонъ весьма неопредѣленный. Онъ недостаточно близко сроденъ съ тоникою, не составляетъ части звука доминанты d, недостаточно близокъ къ тоникѣ,

чтобы быть вводнымъ тономъ и ему недостаетъ стремленія вводнаго тона къ тоникѣ. Поэтому, когда старинные композиторы желали сдѣлать въ заключеніи различіе отъ мажорнаго лада, то заключали сочиненія въ квартовомъ ладѣ полукадансомъ или плагіальнымъ кадансомъ такъ, какъ я его примѣнилъ въ 3-мъ примѣрѣ. Этому кадансу недостаетъ самому рѣшительнаго движенія полнаго каданса; недостатокъ движенія, обусловливаемый недостаткомъ вводнаго тона, не высказывается особенно поразительно.

Въ объемѣ сочиненія, заключающемся въ этомъ ладѣ, вводный тонъ конечно можетъ быть часто примѣняемъ при восходящемъ движеніи, если малая септима входитъ довольно часто при движеніи нисходящемъ. Но именно въ заключеніи не хорошо мѣнять существенную особенность *тона*. Слѣдовательно сочиненія въ квартовомъ ладѣ звучатъ какъ сочиненія въ мажорномъ *тонѣ*, имѣя вполнѣ выраженное стремленіе модулировать обратно въ мажорный *тонъ* нижней доминанты. По приведенной уже прежде причинѣ, переходъ къ нижней доминантѣ кажется менѣе энергичнымъ, чѣмъ къ верхней доминантѣ. Затѣмъ этому ладу недостаетъ также въ его заключеніяхъ опредѣленно выраженнаго движенія, тогда какъ мажорные аккорды, къ которымъ относится и тоническій, преобладаютъ въ немъ своимъ болѣе полнымъ благозвучіемъ. Поэтому квартовый ладъ долженъ быть мягокъ и благозвученъ какъ и мажорный, но ему недостаетъ сильнѣйшихъ порывистыхъ движеній послѣдняго. Съ этимъ согласуется также характеристика, данная Винтерфельдомъ *). Онъ обозначаетъ іонійскій церковный *тонъ* (Dur) какъ рядъ тоновъ «который заключается въ ярко и ясно распространяющемся неизмѣнномъ трезвучіи, основанномъ на удовлетворяющемъ смѣшеніи естественно развивающихся различныхъ тоновъ, и который носитъ характеръ высшаго довольства.» Напротивъ миксолидійскій церковный *тонъ* (квартовый ладъ), есть рядъ тоновъ «въ которомъ всѣ звучащіе элементы стремятся къ тому началу, изъ котораго произошелъ основный тонъ», т. е. къ мажорному *тону* субдоминанты, «чрезъ который чувствуется легкій оттѣнокъ безпокойства, рядомъ съ истиннымъ довольствомъ, подобно христіанскому стремленію къ духовному возрожденію, искупленію и возвращенію къ прежней дѣвственности, смягченному блаженствомъ любви и вѣры».

Септимовый ладъ (фригійскій ладъ Грековъ, дорійскій церковный *тонъ*) имѣетъ на тоникѣ d минорный аккордъ, какъ тоническій

$$g - \underline{h} - \mathbf{d} - \overline{\mathbf{f}} - \mathbf{a} - \overline{c} - e;$$

*) Iohannes Gabrieli und sein Zeitalter, Bd. I, S. 87.

такой же аккордъ находится на доминантѣ *a*; напротивъ на субдоминантѣ *g* находится мажорный аккордъ, которымъ этотъ ладъ отличается отъ терціеваго лада (эолійскаго). Оба названные лада могутъ, не изглаживая своего характера, повысить малую септиму до вводнаго тона; изъ этихъ обоихъ ладовъ составился нашъ минорный *тонъ*. Восходящая минорная гамма принадлежитъ септимовому ладу, которому дали вводный тонъ, нисходящая, къ терціевому. Но если септимовому ладу дать вводный тонъ, то рядъ его аккордовъ будетъ сведенъ въ три существенныя трезвучія *тона*.

g — *h* — **d** — **f** — **a** — *cis* — *e*.

Вообще этотъ *тонъ* имѣетъ характеръ минорнаго *тона*; только переходъ въ аккордъ субдоминанты дѣйствуетъ болѣе ясно, чѣмъ въ нормальномъ минорномъ *тонѣ*, въ коемъ этотъ аккордъ самъ минорный. Но если составляютъ совершенный кадансъ, то обѣ доминанты *тона* получаютъ мажорныя аккорды, посреди которыхъ одинъ тоническій аккордъ остается минорнымъ. Въ заключеніи же, если заключительный аккордъ имѣетъ меньшую степень благозвучія чѣмъ другіе главные аккорды *тона*, то это производитъ неблагопріятное дѣйствіе. Надо на нихъ воспроизвести рѣзкіе диссонансы, если отъ этого не произойдетъ непріятной комбинаціи. Но если по образцу старинныхъ композиторовъ, составляютъ также заключительный аккордъ въ мажорѣ, то характеръ *тона* въ заключеніи совершенно измѣняется въ мажоръ. Или, такъ какъ въ системѣ церковныхъ *тоновъ* *H* можетъ быть постоянно измѣнено въ *B*, что измѣняетъ септаккордъ квартоваго лада въ минорный аккордъ, то этимъ можно предохранить септимовый ладъ въ его кадансѣ отъ смѣшенія съ мажоромъ, но тогда онъ однако совершенно совпадаетъ съ стариннымъ минорнымъ заключеніемъ.

Себастіанъ Бахъ вводитъ въ кадансъ этого лада характеристичную ему большую сексту тоники, въ другія сочетанія аккордовъ и избѣгаетъ такимъ образомъ мажорнаго трезвучія субдоминанты. Онъ помѣщаетъ очень часто большую сексту какъ квинту септаккорда на секундѣ *тона*, какъ это показано въ нижеслѣдующихъ примѣрахъ. № 1, конецъ хорала «Was mein Gott will, das gescheh' allzeit» Matthäus-Passion. № 2 конецъ гимна *Veni redemptor gentium* въ заключеніи кантаты: «Schwingt freudig

Euch empor zu den erhabenen Sternen». Въ обоихъ тоника *h* большая секста *gis*:

Подобныхъ примѣровъ можно найти еще много; Бахъ здѣсь очевидно уклоняется отъ правильнаго заключенія.

Если новѣйшіе композиторы желаютъ употребить ладъ заключающійся между мажоромъ и миноромъ, по крайней мѣрѣ для отдѣльныхъ мелодичныхъ фразъ или кадансовъ, то они по большей части предпочитаютъ давать одинъ изъ минорныхъ аккордовъ лада не тоникѣ, а субдоминантѣ. Гауптманнъ это называетъ минорно-мажорнымъ *тономъ* (Moll-Durtonart); цѣпь аккордовъ этого тона слѣдующая:

f — *as* — **c** — **e** — **g** — *h* — *d*.

Здѣсь мы имѣемъ вводный тонъ въ доминант-аккордѣ, полнозвучное заключеніе въ мажорномъ аккордѣ тоники и стремленіе къ минору можетъ оставаться въ субдоминантаккордѣ ненарушеннымъ. Этотъ минорно-мажорный ладъ (Moll-Durgeschlecht) во всякомъ случаѣ гораздо болѣе удобенъ для гармонизаціи, чѣмъ септимовый. Но для гомофоническаго пѣнія онъ опять таки не примѣнимъ, если въ восходящей гаммѣ не измѣнить *as* въ *a*, такъ какъ иначе бы слѣдовало исполнить неудобный скачекъ *as* — *h*. Древніе лады выведены изъ гомофоническаго пѣнія, къ которому вполнѣ подходитъ септимовый ладъ, составляющій и теперь нашу восходящую минорную гамму.

Слѣдовательно въ то время какъ септимовый ладъ неопредѣленно колеблется между мажоромъ и миноромъ не дозволяя послѣдовательнаго исполненія, секстовый ладъ (дорійскій ладъ Грековъ, фригійскій церковный *тонъ*) посредствомъ своей малой секунды, имѣетъ болѣе своеобразную характеристику, которая отличаетъ его отъ всѣхъ другихъ ладовъ. Эта малая секунда стоитъ

въ такомъ же мелодическомъ отношеніи къ тоникѣ, какъ вводный тонъ; только она требуетъ нисходящаго движенія. Этотъ ладъ также благопріятно построенъ мелодически для нисходящаго движенія, какъ мажорный ладъ для восходящаго. Малая секунда слабѣйшая сродная тоникѣ. Ея сродство къ тоникѣ получается посредствомъ субдоминанты; ладъ совсѣмъ не можетъ составить доминантаккорда безъ того, чтобы не выйти изъ своихъ предѣловъ. Если мы назовемъ тонику чрезъ *e*, то цѣпь аккордовъ будетъ

$$d - \bar{f} - a - \bar{c} - e - g - h - \bar{d};$$

но здѣсь аккорды $d - \bar{f} - a$ и $\bar{f} - a - \bar{c}$ не прямо сродны тоническому аккорду и тонъ $\bar{f}$ не можетъ войти ни въ одинъ изъ консонирующихъ аккордовъ, который бы былъ непосредственно сроденъ тоническому. Такъ какъ *f* какъ разъ характеристичная малая секунда *тона*, то названные аккорды не могутъ отсутствовать въ заключеніи. Слѣдовательно въ то время какъ между двумя слѣдующими другъ за другомъ членами цѣли аккордовъ существуетъ тѣсное сродство, нѣкоторые изъ этихъ членовъ едва только сродны съ тоническимъ аккордомъ. Далѣе въ ходѣ предложенія въ этомъ *тонъ* будетъ всегда необходимо составить доминантаккордъ $h - \underline{dis} - fis$, хотя онъ и содержитъ два тона по происхожденію чуждыхъ гаммѣ, чтобы недопустить господствующимъ то впечатлѣніе, что *a* тоника и $a - \bar{c} - e$ тоническій аккордъ. Отсюда слѣдуетъ, что секстовый ладъ долженъ быть еще менѣе послѣдователенъ въ своей гармонизаціи и еще слабѣе соединенъ чѣмъ минорный ладъ, тогда какъ въ мелодическомъ отношеніи онъ допускаетъ большую послѣдовательность. Онъ заключаетъ три существенные минорные аккорда, именно тоническій $e - \bar{g} - h$, субдоминанты $a - \bar{c} - e$ и тотъ аккордъ, который содержитъ оба слабо сродные тона тоники, т. е. $d - \bar{f} - a$. Это совершенная противуположность мажорному ладу; подобно тому какъ этотъ послѣдній построенъ къ сторонѣ доминанты, секстовый ладъ построенъ къ сторонѣ нижней доминанты.

Мажоръ: $f - \underline{a} - c - \underline{e} - g - \underline{h} - d$

Дорійскій ладъ: $b - \overline{des} - f - \overline{as} - c - \overline{es} - g.$

Различіе для гармонизаціи основывается на томъ условіи, что сродные тоны, которыхъ вводитъ въ гамму нижняя доминанта *f*, именно *b* и $\overline{des}$, не принадлежатъ звуку нижней доминанты, какъ $\underline{h}$ и *d*, которыхъ вводитъ въ *тонъ* доминанта и что тоническій аккордъ посто-

янно лежитъ на сторонѣ доминанты тоники. Поэтому въ гармоническомъ соединеніи тоны *b* и $\overline{des}$ не могутъ быть такъ тѣсно связаны ни съ тоникою, ни съ тоническимъ аккордомъ, какъ это бываетъ съ сродными доминантѣ дополнительными тонами. Поэтому при гармонической обработкѣ секстовый ладъ представляетъ точно также въ высшей степени характеръ минорнаго *тона*. Правда, что его тоны и аккорды между собою соединены, но гораздо менѣе явственно и наглядно, чѣмъ въ минорной системѣ. Аккорды, которые въ немъ могутъ стоять другъ возлѣ друга, безъ того чтобы не покинуть отношенія къ тоникѣ *e*, суть съ одной стороны $\bar{d}$-Moll и $\bar{f}$-Dur, а съ другой *h*-Dur, аккорды, которые въ мажорной системѣ можно было бы составить только посредствомъ рѣзкихъ оборотовъ модуляціи. Эстетическій характеръ секстоваго лада этому соотвѣтствуетъ; онъ удивительно хорошо подходитъ къ таинственному, мистичному, или къ выраженію глубокой скорби, при которой кажется болѣе невозможно собрать мыслей, подавленныхъ горемъ. Такъ какъ съ другой стороны онъ имѣетъ въ своемъ нисходящемъ движеніи извѣстную энергію посредствомъ своего нисходящаго вводнаго тона, то онъ можетъ также выразить строгую и могущественную возвышенность, которая даже принимаетъ, посредствомъ чуждо сопоставленныхъ мажорныхъ аккордовъ, заключающихся въ системѣ, родъ особаго великолѣпія и удивительнаго богатства красокъ.

Хотя секстовый ладъ исключенъ изъ обыкновенныхъ теоретическихъ музыкальныхъ учебниковъ, однако же въ музыкальной практикѣ отъ него сохранились гораздо болѣе явственные слѣды, чѣмъ отъ другихъ старинныхъ ладовъ, изъ коихъ квартовый слился съ мажорнымъ *тономъ* (Durtonart), а септимовый и терцієвый съ минорнымъ *тономъ* (Molltonart). Конечно такой ладъ, какъ вышеописанный, не годится для частаго употребленія; онъ недостаточно сплоченъ для длинныхъ предложеній, но его особенное выраженіе, гдѣ оно умѣстно, не можетъ быть замѣнено ничѣмъ другимъ. Онъ выражается явственно, гдѣ онъ входитъ большею частью своимъ особеннымъ заключительнымъ кадансомъ, который переходитъ отъ малой секунды въ основной тонъ. У Генделя находится еще натуральный кадансъ этой системы, примѣненный съ большимъ эффектомъ. Такъ напр. въ грандіозной фугѣ Мессіи: «And with his stripes, we are healed», которая носитъ знаки гаммы *F*-Moll, но частымъ употребленіемъ септимов[illegible]

*

гармоніи на *G* указываетъ на *C* какъ на тонику. Чистый дорійскій кадансъ слѣдующій:

Точно также въ ораторіи Самсонъ, хоръ «Hör Jacob's Gott», весьма хорошо характеризуетъ въ дорійскомъ ладѣ *E* мольбы сокрушенныхъ Израильтянъ, въ противоположность непосредственно слѣдующихъ затѣмъ шумливыхъ пѣсенъ жертвоприношенія въ *G*-Dur Филистимлянъ. Здѣсь кадансъ также чисто дорійскій:

Хоръ Израильтянъ начинающій третью часть: «Im Donner komm o Gott herab» и двигающійся главнымъ образомъ въ *A*-Moll, имѣетъ также промежуточную дорійскую вставку.

Себастіанъ Бахъ въ гармонизованныхъ имъ хоралахъ, коихъ мелодія принадлежитъ секстовому ладу, удерживаетъ также гармонизацію въ этомъ ладѣ, коль скоро текстъ требуетъ глубоко скорбнаго выраженія, напр. въ «De profundis» или въ «Aus tiefer Noth schrei ich zu Dir», или въ пѣсни Павла Гергардта «Wenn ich einmal soll scheiden so scheide nicht von mir», тогда какъ ту же мелодію при другихъ текстахъ напр., «Befiehl Du deine Wege» «O Haupt voll Blut und Wunden» и т. д. онъ гармонизируетъ въ мажорѣ или минорѣ, при чемъ мелодія вмѣсто окончанія въ дорійской тоникѣ, кончается въ терціи или квинтѣ *тона*.

Уже Фортлаге *) (Fortlage) замѣтилъ, что во второмъ дѣйствіи волшебной флейты въ аріи Памины, Моцартъ примѣнилъ дорійскій ладъ. Одинъ изъ лучшихъ примѣровъ противоположности этого лада съ мажорнымъ *тономъ*, находится у того же маэстро въ секстетѣ вто-

*) Экертъ (Eckert) упоминаетъ о примѣрахъ изъ инструментальныхъ композицій въ своемъ сочиненіи: «Die Principen der Modulation und musikalischen Idee». Heidelberg 1860. Стр. 12.

раго акта Донъ-Жуана при входѣ партій Оттавіо и донны Анны. Оттавіо поетъ слова утѣшенія

Tergi il ciglio, o vita mia
E dà calma al tuo dolore

въ *D*-Dur, который однако имѣетъ особый оттѣнокъ въ томъ, что стремится перейдти, какъ это бываетъ въ квартовомъ ладѣ на субдоминанту, хотя это и не совершается безъ нѣкотораго нарушенія. Затѣмъ, въ совершенно подобныхъ же мелодичныхъ оборотахъ и съ такимъ же продолжающимся сопровожденіемъ, слѣдуетъ партія глубоко огорченной донны Анны, коей пѣніе послѣ короткой модуляціи чрезъ *D*-Moll, окончательно установливается въ секстовомъ ладѣ *C*.

Sola morte, o mio tesoro,
Il mio pianto può finir.

Здѣсь противоположность между сладостнымъ душевнымъ движеніемъ и подавляющею грустью представлена удивительно художественно преимущественно посредствомъ мѣны ладовъ. Умирающій командоръ, въ концѣ интродукціи Донъ Жуана, кончаетъ также дорійскимъ кадансомъ. Точно также кончается и «Agnus Dei» реквіема Моцарта, хотя и сомнительно, что окончаніе сдѣлано самимъ Моцартомъ.

Между сочиненіями Бетховена можно было бы указать на первую часть фортепіанной сонаты Op. 90 *E*-Moll какъ на такую, которая получаетъ особенно подавляющій характеръ вслѣдствіе частаго употребленія дорійскихъ кадансовъ и въ противоположность которой вторая часть, написанная въ мажорѣ, пріобрѣтаетъ вслѣдствіе этого болѣе услаждающее выраженіе.

Новѣйшіе композиторы составляютъ кадансъ, принадлежащій секстовому ладу, не рѣдко съ малою секундою и большою септимою, въ такъ называемомъ увеличенномъ секстаккордѣ $\bar{f}$ — *a* — *dis*, въ которомъ какъ $\bar{f}$ такъ и *dis* отстоятъ отъ тоники *c* на полутонъ. Этотъ аккордъ не можетъ быть выведенъ ни изъ мажорнаго, ни изъ минорнаго лада и поэтому казался многимъ новѣйшимъ теоретикамъ, весьма загадочнымъ и необъяснимымъ. Но онъ легко объясняется какъ остатокъ древняго секстоваго лада тѣмъ, что большую септиму *dis*, принадлежащую доминантаккорду *h* — *dis* — *fis* соединяютъ съ тонами $\bar{f}$ — *a*, со стороны нижней доминанты.

Эти примѣры могутъ быть достаточны, чтобы доказать, что остатки секстоваго лада сохранились и въ новѣйшей музыкѣ. Если этимъ заняться, то легко найдутъ еще гораздо болѣе примѣровъ. Соедине-

нія аккордовъ этого лада не достаточно тверды и явственны, чтобы на нихъ можно было построить сложныя сочиненія, но въ короткихъ сочиненіяхъ, хоралахъ, или короткихъ промежуточныхъ предложеніяхъ и въ мелодическихъ періодахъ музыкальныхъ произведеній большаго размѣра онъ имѣетъ такое могущественное выраженіе, что въ новѣйшей теоріи его не слѣдовало бы забывать тѣмъ болѣе, что Гендель, Бахъ и Моцартъ имъ пользовались въ самыхъ выразительныхъ выдающихся мѣстахъ своихъ произведеній *).

Подобное же впрочемъ происходитъ съ квартовымъ и септимовымъ ладомъ, хотя оба различаются менѣе специфически, одинъ отъ мажора, а другой отъ минора. Однако они всегда въ состояніи придать особое выраженіе извѣстнымъ музыкальнымъ періодамъ, хотя бы и не обошлось безъ затрудненій ихъ послѣдовательно примѣнить къ длиннымъ музыкальнымъ предложеніямъ. Гармоническіе обороты, принадлежащіе обоимъ послѣдне названнымъ ладамъ, могутъ быть конечно также воспроизводимы въ предѣлахъ обыкновенной мажорной и минорной системы. Однако для теоретическаго усвоенія извѣстныхъ модуляцій было бы облегченіемъ, если бы понятіе объ этихъ ладахъ и ихъ гармонизаціи было бы удержано.

Слѣдовательно преимущество современныхъ *тоновъ*, какъ это согласно показываютъ историческое развитіе и физіологическая теорія, существуетъ только для гармонической музыки. Происхожденіе ихъ вызвано эстетическимъ принципомъ современной музыки, что въ рядѣ аккордовъ, тоническій аккордъ долженъ господствовать на основаніи того же закона сродства, какъ тоника въ гаммѣ. Этотъ принципъ достигъ фактическаго господства только съ начала прошлаго столѣтія, когда почувствовали необходимость сохранить въ заключительномъ кадансѣ и тоническій минорный аккордъ.

*) Г. Эттингенъ (A. v. Oettingen) въ своемъ сочиненіи «Harmoniesystem in dualer Entwickelung» (Dorpat und Leipzig 1866) провелъ весьма интереснымъ образомъ послѣдовательную аналогію секстоваго лада съ мажорнымъ, прямое обращеніе котораго составляетъ первый; главнымъ же образомъ онъ показалъ какимъ образомъ это обращеніе приводитъ къ особенно характеристической гармонизаціи секстоваго лада. Въ этомъ отношеніи я вполнѣ рекомендую это сочиненіе музыкантамъ. Съ другой стороны, какъ мнѣ кажется, сперва должно было бы быть доказано музыкальною практикою, что новый принципъ положенный въ основаніе авторомъ теоріи секстоваго лада, который онъ разсматриваетъ какъ теоретически нормальный минорный ладъ, дѣйствительно достаточенъ для построенія большихъ музыкальныхъ сочиненій. Дѣло въ томъ что онъ разсматриваетъ минорное трезвучіе $c - \overline{es} - g$ какъ представитель тона g'' общаго тремъ звукамъ и называетъ его по этому фоническимъ звукомъ g, тогда какъ $c—e—g$ разсматривается, какъ и у насъ въ качествѣ тоническаго звука c.

Физіологическое явленіе, на которомъ основывается этотъ принципъ, заключается въ томъ, что музыкальные звуки суть уже сами по себѣ аккорды частныхъ тоновъ и что наоборотъ, аккорды могутъ также при извѣстныхъ условіяхъ замѣнять звуки. Вслѣдствіе этого обстоятельства въ каждомъ трезвучіи одинъ изъ его тоновъ играетъ главную роль, а именно тотъ, коего звукъ можетъ быть разсматриваемъ представителемъ аккорда. Практически этотъ принципъ былъ признанъ давно, т. е. какъ только начали составлять заключенія предложеній изъ многоголосныхъ аккордовъ. Здѣсь тотчасъ же почувствовали, что къ заключительному тону баса можно присоединить октаву, квинту, наконецъ большую терцію, но что не слѣдуетъ прибавлять ни кварты, ни сексты; при этомъ довольно долго уклонялись отъ употребленія малой терціи. Эти три первые интервала лежатъ именно въ звукѣ лежащей въ басу тоники, послѣдніе же нѣтъ.

Рамо въ своемъ ученіи объ основномъ басѣ первый призналъ теоретически различное значеніе тоновъ въ аккордѣ, хотя онъ и не зналъ указанной нами причины этого различнаго значенія. Тотъ тонъ, коего звукъ по нашему объясненію представляетъ аккордъ, называется его **основнымъ басомъ**, его **основнымъ тономъ**, для отличія отъ обыкновенно такъ называемаго **басоваго тона** т. е. тона нижайшаго голоса. Мажорное трезвучіе имѣетъ постоянно въ каждомъ обращеніи тотъ же основной басъ. Въ аккордахъ $c—e—g$ или $g—c—e$, онъ всегда c. Минорный аккордъ $d — \overline{f} — a$ имѣетъ точно также по правилу въ своихъ различныхъ обращеніяхъ основнымъ тономъ только d, но въ секстаккордѣ $\overline{f}—a—d$, онъ можетъ также имѣть основнымъ тономъ $\overline{f}$; въ этомъ смыслѣ онъ и входитъ въ кадансъ c-Dur. Это послѣднее различіе было частью упущено послѣдователями Рамо, хотя въ этомъ случаѣ его художественное чувство вполнѣ отвѣчало природѣ вещей. Дѣйствительно, какъ мы это показали выше, минорный аккордъ допускаетъ это двоякое значеніе.

Существенное различіе древнихъ и новыхъ *тоновъ* заключается въ томъ, что первые имѣютъ свои минорные аккорды въ сторонѣ доминанты, а послѣдніе субдоминанты.

въ		Аккордъ: субдоминанты	тоники	доминанты
старомъ	терціевомъ ладѣ . . .	Moll	Moll	Moll
	септимовомъ ладѣ . .	Dur	Moll	Moll
	квартовомъ ладѣ . .	Dur	Dur	Moll
	мажорномъ ладѣ . .	Dur	Dur	Dur
новомъ	минорно-мажорномъ ладѣ.	Moll	Dur	Dur
	минорномъ ладѣ. . .	Moll	Moll	Dur.

Условіе этого построенія были уже изслѣдованы выше.

ГЛАВА XVI.

Система *тоновъ*.

Высота тоники музыкальной композиціи ничѣмъ не опредѣляется сразу. Если же имѣются музыкальные инструменты, или голоса пѣвцовъ опредѣленно ограниченнаго объема, коими должны быть исполнены различныя мелодіи или пьесы, то придется избирать тонику на различной высотѣ, смотря потому какъ восходитъ или нисходитъ относительно ея мелодія. По своей высотѣ тоника должна быть выбрана такъ, чтобы объемъ тоновъ пьесы входилъ въ объемъ голоса, или того музыкальнаго инструмента, коимъ пьеса должна быть воспроизведена. Это неизбѣжное практическое соображеніе требуетъ возможности выбрать основной тонъ каждой пьесы на произвольной высотѣ.

Далѣе, въ длинныхъ музыкальныхъ пьесахъ является необходимость временно измѣнять тонику, т. е. модулировать, чтобы избѣгнуть однообразія и чтобы воспользоваться музыкальными дѣйствіями измѣненія и возвращенія къ первоначальному *тону*. Точно также какъ консонансы дѣлаются рельефнѣе и дѣйствительнѣе посредствомъ диссонансовъ, такъ и чувство господствующей тональности и ощущаемое въ ней удовлетвореніе усиливаются посредствомъ предшествующихъ уклоненій въ близь лежащіе *тоны*. Разнообразіе музыкальныхъ оборотовъ, обусловливаемое посредствомъ модуляціи, сдѣлалось тѣмъ болѣе необходимымъ для новѣйшей музыки, что оно должно было уничтожить старинный принципъ измѣненія выраженія посредствомъ различныхъ ладовъ, или по крайней мѣрѣ его сократить до весьма тѣсныхъ предѣловъ. Грекамъ принадлежалъ свободный выборъ семи различныхъ ладовъ; среднимъ вѣкамъ пяти или шести; намъ же только принадлежитъ выборъ двухъ ладовъ,—мажорнаго и минорнаго. Эти старинные лады представляли рядъ различныхъ подраздѣленій характера тона, изъ коихъ въ гармонической музыкѣ остались употребительными только два. Напротивъ при болѣе явственномъ и твердомъ строеніи гармоническаго сочиненія, новѣйшіе лады могутъ допустить большую свободу въ модуляціонныхъ

уклоненіяхъ отъ первоначальной тоники и этимъ вступить въ новую область музыкальнаго богатства, которая во всякомъ случаѣ была только весьма мало доступна древнимъ.

Наконецъ я долженъ еще упомянуть о неоднократно поднятомъ вопросѣ, а именно: имѣютъ ли различные *тоны* сами по себѣ различные характеры.

Ясно, что модуляціи въ различные болѣе или менѣе удаленные *тоны* къ сторонѣ верхней или нижней доминанты и въ предѣлахъ одной и той же пьесы производятъ различный эффектъ. Но это является только какъ противоположность къ прежде установленному главному *тону*. Это было бы только относительнымъ характеромъ. Предлагаемый здѣсь вопросъ состоитъ въ томъ, что принадлежитъ ли *тонамъ*, независимо отъ ихъ отношенія къ другому *тону*, особый абсолютный характеръ.

Хотя это нерѣдко и предполагали, но трудно рѣшить насколько сказанное справедливо и что собственно подъ этимъ понимаютъ, такъ какъ подъ названіемъ абсолютнаго характера быть можетъ соединялись весьма различныя понятія, потому что при этомъ не отдавали отчета о различіяхъ, зависящихъ отъ разнообразія инструментовъ. Если инструментъ, имѣющій неизмѣнные тоны, настроенъ по равномѣрной температуріи, т. е. всѣ полутоны на протяженіи скалы имѣютъ одинаковую величину и оттѣнокъ звука всѣхъ тоновъ также одинъ и тотъ же, то нѣтъ никакого основанія полагать, что пьесы въ различныхъ *тонахъ* должны имѣть различный характеръ и мнѣ было подтверждено компетентными музыкантами, что нельзя напр. замѣтить различнаго характера *тоновъ* на органѣ. Тоже самое, какъ я думаю, справедливо полагаетъ Гауптманнъ *) относительно пѣнія съ сопровожденіемъ или безъ сопровожденія органа. Самое большое, если значительное измѣненіе въ высотѣ тоники будетъ въ состояніи произвести то, что всѣ высокіе тоны сдѣлаются слишкомъ крикливыми, или же всѣ низкіе слишкомъ неявственными.

Напротивъ у фортепіано и у смычковыхъ инструментовъ характеръ *тоновъ* выдѣляется рѣзко. *Тонъ C*-Dur и сосѣдній ему *Des*-Dur звучатъ различно. Можно легко убѣдиться, если сравнить два различныхъ инструмента различной настройки, что это различіе не зависитъ отъ абсолютной высоты тоновъ. *Des*, инструмента, настроеннаго ниже, можетъ быть на одной высотѣ съ *C* болѣе высокаго; однако же на обоихъ инструментахъ *C*-Dur сохраняетъ свой сильный и ясный характеръ, а *Des*-Dur свое мягкое, томное благозвучіе. Здѣсь едва ли можно подумать о чемъ либо другомъ, какъ о томъ, что

*) Harmonik und Metrik, S. 188.

ударъ по болѣе короткимъ и узкимъ верхнимъ (чернымъ) клавишамъ фортепіано даетъ нѣсколько иной оттѣнокъ звука, чѣмъ ударъ по нижнимъ (бѣлымъ) клавишамъ, и что смотря потому какъ распространяется болѣе сильный или мягкій звукъ на различныя ступени *тона*, проявляется и другой характеръ. Я не смѣю рѣшить изъ опыта, способствуютъ ли этому правильныя различія настройки тѣхъ квинтъ, которыя строятся настройщиками послѣдними и на которыхъ сосредоточиваются ошибки остальныхъ квинтъ квинтоваго круга.

Въ смычковыхъ инструментахъ пустыя струны выдѣляются своимъ сильнѣйшимъ оттѣнкомъ; быть можетъ, что характеръ *тоновъ* могутъ мѣнять и различія звука значительно или немного укороченныхъ струнъ, смотря потому, на какую они приходятся ступень гаммы. Это предположеніе было мнѣ подтверждено посредствомъ вопросовъ обращенныхъ мною музыкантамъ, а именно, почему они узнаютъ въ извѣстныхъ случаяхъ *тонъ*? Къ этому прибавляются еще неправильности настройки. Квинты пустыхъ струнъ,— вѣрныя квинты. Кромѣ того не всѣ другія квинты могутъ быть вѣрными, если при исполненіи въ различныхъ *тонахъ*, всѣмъ тонамъ дѣйствительно дается постоянно одно и тоже значеніе какъ къ этому, по крайней мѣрѣ по большой части стремятся въ преподаваніи игры на скрипкѣ. Поэтому гаммы различныхъ *тоновъ* будутъ также раличаемы и настройкою, что естественно должно имѣть еще гораздо болѣе существенное вліяніе на характеръ мелодіи.

Въ большинствѣ духовыхъ инструментовъ, различіе въ оттѣнкѣ звука различныхъ нотъ еще больше.

Если этотъ взглядъ на предметъ вѣренъ, то характеръ *тоновъ* различныхъ инструментовъ долженъ былъ бы быть весьма различенъ, что, какъ я полагаю, въ дѣйствительности и бываетъ. Однако это такое обстоятельство, которое можетъ быть разрѣшено только весьма утонченнымъ слухомъ музыканта, если онъ направитъ свое вниманіе на представляющіеся здѣсь вопросы.

Впрочемъ было бы не невозможно, чтобы въ характеръ *тоновъ* входили также извѣстныя общія черты, независимыя отъ различія инструментовъ и зависящія только отъ абсолютной высоты тоники, вслѣдствіе особаго свойства человѣческаго уха, на которое я уже обратилъ вниманіе прежде. Дѣло въ томъ, что g'''' собственный тонъ человѣческаго уха и поэтому когда оно не вооружено, этотъ тонъ звучитъ особенно рѣзко; часть этой рѣзкости принадлежитъ также fis'''' и as''''. Тѣ звуки, въ которыхъ g'''' встрѣчается какъ верхній тонъ, обнаруживаютъ немного болѣе рѣзкій и явственный звукъ, чѣмъ ихъ сосѣдніе, т. е. g''', c''' и g''. Только для пьесъ въ *C*-Dur быть можетъ не одно и тоже, если ихъ высшая квинта g'' и тоника c''' отли-

чаются этимъ рѣзкимъ звукомъ отъ сосѣднихъ тоновъ; но во всякомъ случаѣ эти различія слабы и я пока долженъ оставить вопросъ касательно того, что слѣдуетъ ли ихъ принимать во вниманіе, не разрѣшеннымъ.

Всѣ или нѣкоторыя изъ этихъ причинъ, дѣлаютъ для музыкантовъ необходимымъ свободный выборъ высоты тоники; поэтому уже Греки транспонировали свои гаммы во всѣ ступени хроматической скалы. Такія транспозиціи не представляютъ для пѣвцовъ никакого затрудненія; они могутъ начинать каждымъ основнымъ тономъ и находятъ всюду въ своемъ голосѣ слѣдующія затѣмъ ступени. Но это было затруднительнѣе для музыкальныхъ инструментовъ, въ особенности же для тѣхъ, которые имѣютъ вообще только нѣкоторыя опредѣленныя ступени. Но затрудненіе не исчезаетъ даже вполнѣ и въ тѣхъ инструментахъ, которые, каковы напр. смычковые, хотя и могутъ воспроизвести каждую ступень, но при которыхъ учащійся долженъ прежде всего заняться механическимъ упражненіемъ пальцевъ для того, чтобы вѣрно попадать на данную ноту и только при полнѣйшемъ совершенствѣ достигаетъ способности играть съ точностью всякій тонъ такъ, какъ требуетъ его ухо.

Тѣмъ не менѣе, пока не переходили въ отдѣльные *тоны* и довольствовались небольшимъ числомъ знаковъ перемѣщенія, греческая система не была соединена съ непреодолимыми затрудненіями и для инструментовъ. До начала 17-го столѣтія довольствовались двумя знаками: пониженія для полученія нотъ *B* и *Es* и знакомъ повышенія ♯ для *Fis*, *Cis*, *Gis*, для того, чтобы имѣть вводные тоны тоникъ *C*, *D* и *A*. Но при этомъ избѣгали примѣненія энгармоническихъ тоновъ, соотвѣтствующихъ *Dis*, *Ais*, *As*, *Des*, *Ges*. Вставкою *B* вмѣсто *H* можно было переложить каждый ладъ на его субдоминанту; другихъ транспозицій не дѣлали.

Въ пиѳагоровой системѣ, удержавшей свое господство въ теоріи до Царлино (16 стол.) строили только по квинтамъ; слѣдовательно, восходя въ квинтахъ отъ *C*, мы получимъ:

C G D A E H Fis Cis
Gis Dis Ais Eis His.

Если мы будемъ постоянно восходить только на двѣ квинты и нисходить на октаву, то такой интервалъ $\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{9}{8}$ равенъ большой секундѣ. Это даетъ ноты:

C D E Fis Gis Ais His

$$1 \quad \frac{9}{8} \quad \left(\frac{9}{8}\right)^2 \left(\frac{9}{8}\right)^3 \left(\frac{9}{8}\right)^4 \left(\frac{9}{8}\right)^5 \left(\frac{9}{8}\right)^6.$$

Если мы будемъ отъ *C* нисходить въ квинтахъ, то получимъ слѣдующій рядъ тоновъ:

C F B Es As Des Ges Ces
Fes Bb Eses Ases Deses.

Или, если мы будемъ постоянно нисходить на двѣ квинты и затѣмъ восходить на октаву, то получимъ тоны:

C B As Ges Fes Eses Deses

$$1 \quad \frac{8}{9} \quad \left(\frac{8}{9}\right)^2 \left(\frac{8}{9}\right)^3 \left(\frac{8}{9}\right)^4 \left(\frac{8}{9}\right)^5 \left(\frac{8}{9}\right)^6.$$

Интервалъ $\left(\frac{8}{9}\right)^6 = \frac{262144}{531441} = \frac{1}{2} \cdot \frac{524288}{531441}$ или

сокращенно $\left(\frac{8}{9}\right)^6 = \frac{1}{2} \cdot \frac{73}{74}$

$$\left(\frac{8}{9}\right)^6 = 2 \cdot \frac{74}{73}.$$

Слѣдовательно тонъ *His* выше октавы *C* на малый интервалъ $\frac{74}{73}$, а тонъ *Deses* на столько же ниже нижней октавы *C*. Если мы теперь будемъ восходить отъ *C* и *Deses* въ вѣрныхъ квинтахъ, то найдемъ туже постоянную разницу между

C	и	*Deses*
G	»	*Ases*
D	»	*Eses*
A	»	*Bb*
E	»	*Fes*
H	»	*Ces*
Fis	»	*Ges*
Cis	»	*Des*
Gis	»	*As*
Dis	»	*Es*
Ais	»	*B*
Eis	»	*F*
His	»	*C*.

См. стр. 400
если взять квинт.
круг от Fes, то E будет отличаться от Fis
так же, как C от His

Всѣ тоны, стоящіе влѣво, выше на $\frac{74}{73}$ тоновъ, стоящихъ вправо. Наше нотное письмо, коего принципы развились еще до установленія современной системы тоновъ, удержало различіе тоновъ, стоящихъ вправо и влѣво. Но на инструментахъ съ неизмѣнными ступенями, такое различіе близь лежащихъ ступеней сдѣлалось практически неудобнымъ и поэтому старались ихъ слить. Это повело ко многимъ несовершеннымъ попыткамъ, при которыхъ измѣняли болѣе или менѣе отдѣльные интервалы, чтобы получить вѣрными другіе, т. е. къ такъ называемой неравномѣрной температуріи; наконецъ перешли къ системѣ равномѣрной температуріи, при которой ок-

таву раздѣлили на 12 совершенно одинаковой величины ступеней. Мы видѣли, что отъ *C* до *His*, который отличается отъ *C* только примѣрно на $\frac{1}{5}$ полутона, именно на интервалъ $\frac{74}{73}$, доходятъ посредствомъ 12 вѣрныхъ квинтъ. Точно также при нисхожденіи 12-ю квинтами доходятъ до *Deses*, который на столько же ниже *C*, на сколько *His* выше. Слѣдовательно если установить $C = His = Deses$ и равномѣрно распредѣлить малое уклоненіе $\frac{74}{73}$ на всѣ 12 квинтъ каждаго квинтоваго круга, то каждая квинта будетъ приблизительно не вѣрна на $\frac{1}{60}$ полутона, невѣрность, которая весьма ничтожна. Вслѣдствіе этого различіе ступеней въ предѣлахъ октавы разложено на 12 ступеней, какъ это и существуетъ въ современныхъ клавишныхъ инструментахъ.

Квинта равномѣрной темпераціи, выраженная приблизительно въ возможно малыхъ цѣлыхъ числахъ, равна $\frac{3}{2} \cdot \frac{885}{886}$. Ея примѣненіе вмѣсто вѣрной квинты въ рѣдкихъ дѣйствительно случаяхъ претерпѣваетъ затрудненіе. Основной тонъ, ударенный вмѣстѣ съ его темпераціонною квинтою, даетъ одно дрожаніе, въ то время какъ квинта совершаетъ $442\frac{1}{2}$ колебанія. Такъ какъ одночертное a_1 дѣлаетъ 440 колебаній въ секунду, то темпераціонная квинта $d_1 - a_1$ должна давать приблизительно въ секунду одно дрожаніе. Конечно это можно было бы замѣтить при тонахъ выдерживаемыхъ продолжительно, но отъ этого не происходитъ непосредственнаго нарушенія; при быстромъ движеніи, такія дрожанія не имѣютъ совсѣмъ времени для своего проявленія. Нарушеніе въ низкомъ расположеніи, гдѣ дрожанія становятся медленнѣе въ томъ же отношеніи въ какомъ убываютъ абсолютныя числа колебаній, еще менѣе. Но въ болѣе высокихъ расположеніяхъ они дѣйствительно становятся замѣтнѣе; $d''' - a'''$ дастъ 4 дрожанія въ секунду, $a''' - e'''$ 6 дрожаній; между тѣмъ такія высокія расположенія аккордовъ рѣдко встрѣчаются въ нотахъ большой длительности, а большею частью только въ быстромъ движеніи. Кварты равномѣрно темпераціонной системы суть $\frac{4}{3} \cdot \frac{886}{885}$. Въ то время какъ нижній тонъ кварты дѣлаетъ $221\frac{1}{2}$ колебаніе, происходитъ одно дрожаніе. И такъ, кварта $a - d_1$ дѣлаетъ какъ и квинта $d_1 - a_1$ одно дрожаніе въ секунду. Слѣдовательно вѣрные консонансы, которые сохраняетъ пиѳагорова система, замѣтно не ухудшаются равномѣрною темпераціею; въ мелодическомъ же слѣдованіи тоновъ интервалъ $\frac{885}{886}$ близокъ къ предѣлу различаемой вообще разницы высотъ тоновъ. По изслѣдованіямъ Вебера, предѣлъ, распознаваемый опытными скрипачами разницы, составляетъ интервалъ $\frac{1000}{1001}$. Но при

звуковыхъ сочетаніяхъ можно распознать посредствомъ дрожаній еще болѣе утонченныя различія.

Терціи и сексты равномѣрной темпераціи **лежатъ ближе** къ вѣрнымъ терціямъ и секстамъ, чѣмъ пиѳагоровы.

	Вѣрные.	Равномѣрной темпераціи.	Пиѳагоровы.
Большая терція .	$\frac{5}{4}$	$\frac{5}{4} \cdot \frac{127}{126}$	$\frac{5}{4} \cdot \frac{81}{80}$
Малая секста....	$\frac{8}{5}$	$\frac{8}{5} \cdot \frac{126}{127}$	$\frac{8}{5} \cdot \frac{80}{81}$
Малая терція....	$\frac{6}{5}$	$\frac{6}{5} \cdot \frac{121}{122}$	$\frac{6}{5} \cdot \frac{80}{81}$
Большая секста .	$\frac{5}{3}$	$\frac{5}{3} \cdot \frac{122}{121}$	$\frac{5}{3} \cdot \frac{81}{80}$
Полутонъ......	$\frac{16}{15}$	$\frac{18}{17}$ или $\frac{16}{15} \cdot \frac{147}{148}$	$\frac{21}{20}$ или $\frac{16}{15} \cdot \frac{80}{81}$.

Поэтому диссонансъ, воспроизводимый посредствомъ верхнихъ гармоническихъ тоновъ, выходитъ немного мягче при равномѣрныхъ терціяхъ, чѣмъ при пиѳагоровыхъ, но ихъ комбинаціонные тоны еще болѣе непріятны. Комбинаціонные тоны пиѳагоровыхъ терцій $c' - e'$ и $e' - g'$ суть *Gis* и H_1, разнящіеся оба на полутонъ отъ комбинаціоннаго тона *C*, который воспроизводится обѣими терціями при вѣрной настройкѣ. Въ минорномъ аккордѣ $e' - g' - h'$ комбинаціонные тоны, даваемые пиѳагоровыми терціями суть H_1 и *Gis*; первый подходитъ къ аккорду удовлетворительно, даже лучше комбинаціоннаго тона *C*, получаемаго при вѣрной настройкѣ. Напротивъ, второй комбинаціонный тонъ *Gis* не принадлежитъ къ минорному аккорду *E*, а къ мажорному. Но такъ какъ при вѣрной настройкѣ одинъ изъ двухъ комбинаціонныхъ тоновъ *C* и *G* также фальшивъ, то въ этомъ отношеніи пиѳагорова настройка не уступаетъ прямо вѣрной. Комбинаціонные тоны равномѣрныхъ терцій лежатъ между комбинаціонными тонами вѣрныхъ и пиѳагоровыхъ терцій, будучи удалены менѣе чѣмъ на полутонъ отъ вѣрныхъ; слѣдовательно они не отвѣчаютъ никакой возможной модуляціи, никакому тону хроматической скалы, никакому диссонансу, который бы могъ войти какимъ бы то ни было веденіемъ мелодіи; поэтому они звучатъ просто разстроенно и фальшиво.

Эти неблагопріятные комбинаціонные тоны были для меня самыми мучительными въ гармоніи равномѣрной темпераціи; именно если въ высокомъ расположеніи будутъ исполнены не очень скорые ходы

въ терціяхъ, то комбинаціонные тоны составятъ съ ними родъ отвратительнаго основнаго баса, который тѣмъ болѣе непріятенъ, что онъ довольно близокъ къ вѣрному, и даетъ такое впечатлѣніе, какъ будто бы онъ исполнялся на совершенно разстроенномъ инструментѣ. Комбинаціоенные тоны слышать яснѣе всего на гармоніонѣ и на скрипкѣ. Здѣсь при нѣкоторомъ вниманіи ихъ замѣчаетъ всякій музыкантъ, равно какъ и всякій опытный диллетантъ. Но если разъ привыкнуть ихъ разслушивать, то они выдѣляются и на фортепіано. При греческой настройкѣ комбинаціонные тоны выходятъ скорѣе такъ, какъ будто бы кто либо нарочно исполнялъ одновременно диссонансы. Которое изъ этихъ двухъ золъ меньшее, я рѣшить не смѣю. Въ болѣе низкомъ расположеніи, при которомъ слишкомъ низко лежащіе комбинаціонные тоны слышать съ трудомъ или не слышать вовсе, равномѣрныя терціи заслуживаютъ во всякомъ случаѣ преимущество передъ греческими, потому что онѣ менѣе грубы и даютъ менѣе дрожаній. Напротивъ въ высокомъ расположеніи, преимущество ихъ, быть можетъ, снова уничтожается посредствомъ комбинаціонныхъ тоновъ. Но во всякомъ случаѣ равномѣрно темпераціонная система въ состояніи воспроизвести, и при томъ съ меньшими средствами, все то, что воспроизводила пиѳагорова.

Науманнъ *) (C. E. Naumann) защищавшій недавно пиѳагорову систему противъ равномѣрно-темпераціонной, основываетъ главную силу своихъ доводовъ на томъ, что полутоны, отдѣляющіе восходящій вводный тонъ отъ тоники и нисходящую малую септиму отъ терціи разрѣшающаго трезвучія, въ пиѳаговорой системѣ меньше, именно $\frac{21}{20}$, чѣмъ въ равномѣрной темпераціи, гдѣ они достигаютъ $\frac{18}{17}$, они наибольшіе при вѣрной настройкѣ именно $\frac{16}{15}$. Въ то время какъ въ равномѣрной темпераціи между *f* и *g* лежитъ только одинъ тонъ, который является то какъ вводный тонъ *g* — *fis*, то какъ септима *ges*, переходящая въ *f*, при пиѳагоровой настройкѣ *ges* немного ниже *fis*; слѣдовательно полутонъ приближается къ той сторонѣ, въ которой онъ долженъ разрѣшиться при правильномъ ходѣ и высота тона обозначается направленіемъ разрѣшенія. Но если вводный тонъ играетъ важную роль въ модуляціи, то тѣмъ не менѣе однако ясно, что мы не имѣемъ права только ради того, чтобы его приближать къ разрѣшенію, произвольно измѣнять соотвѣтствующую ступень. Въ противномъ случаѣ, приближая его все ближе и ближе къ тону разрѣшенія, мы бы не нашли предѣла; мы бы не нашли между ними никакого разграниченія, какъ это и существуетъ въ энгармоническомъ

*) Ueber die verschiedenen Bestimmungen der Tonverhältnisse. Leipzig, 1858.

ладѣ Грековъ. Но если дѣйствительно переходятъ отъ пиѳагорова полутона, составляющаго почти $\frac{4}{5}$ натуральнаго, къ еще меньшему въ $\frac{3}{5}$, почти $(\frac{16}{15} \cdot \frac{80}{81} \cdot \frac{80}{81})$, то такой вводный тонъ звучитъ уже совершенно неестественно. Мы уже видѣли прежде, какъ характеръ вводнаго тона существенно зависитъ отъ того, что онъ тотъ тонъ скалы, который имѣетъ наислабѣйшее сродство къ топикѣ и настраиваніе котораго поэтому самое сомнительное и можетъ быть незначительно измѣнено всего скорѣе. И такъ, мы всего менѣе должны заимствовать принципъ построенія нашихъ гаммъ отъ такого тона.

Слѣдовательно главнѣйшій недостатокъ нашей настоящей темпераціонной настройки не заключается въ квинтахъ; такъ какъ о ихъ невѣрности дѣйствительно не стоитъ и говорить, то и въ аккордахъ она будетъ также едва замѣтною. Ошибка лежитъ скорѣе въ терціяхъ, хотя она и не происходитъ отъ того, что терціи получены слѣдованіемъ невѣрныхъ квинтъ, а скорѣе отъ прежней ошибки пиѳагоровой системы, по которой терціи опредѣлены восходящимъ рядомъ четырехъ квинтъ. Здѣсь вѣрныя квинты еще хуже невѣрныхъ. Естественное сродство терціи къ топикѣ основывается какъ мелодически, такъ и гармонически на отношеніи колебаній $\frac{4}{5}$. Всякая другая терція можетъ быть только болѣе или менѣе неудовлетворительнымъ видоизмѣненіемъ натуральной терціи. Единственная вѣрная система тоновъ та, которая, по способу предложенному Гауптманномъ, различаетъ тоны, получаемые посредствомъ квинтъ, отъ тоновъ, получаемыхъ посредствомъ терцій. Такъ какъ для значительнаго числа теоретическихъ вопросовъ важно умѣть дѣлать наблюденія надъ тонами, которые дѣйствительно составляютъ между собою теоретически требуемые натуральные интервалы, чтобы не впасть въ ошибку отъ несовершенствъ равномѣрной темпераціи, то я попытался построить такой инструментъ, посредствомъ котораго можно было бы модулировать чрезъ всѣ *тоны* въ вѣрныхъ интервалахъ.

Если бы дѣйствительно должны были возстановить систему тоновъ, которую вполнѣ различаетъ Гауптманнъ, чтобы имѣть вѣрные интервалы во всѣхъ *тонахъ*, то конечно было бы едва возможно преодолѣть трудность задачи. Къ счастію при этомъ можно достигнуть весьма значительнаго существеннаго упрощенія посредствомъ способа, найденнаго первыми аравійско-персидскими музыкантами и о которомъ мы уже упомянули прежде.

Мы видѣли, что тоны системы Гауптманна, воспроизведенные посредствомъ квинтъ и обозначенные безчертными буквами *c*—*g*—*d*—*a* и т. д., выше одноименныхъ тоновъ $\underline{c} — \underline{g} — \underline{d} — \underline{a}$, воспроизведенныхъ посредствомъ терцій на интервалъ $\frac{81}{80}$ или на пиѳагорову комму.

Далѣе мы видѣли, что если отъ *h* нисходить рядомъ 12 послѣдовательныхъ квинтъ до *ces*, то послѣднiй тонъ, переложенный въ вѣрную октаву, ниже *h* на интервалъ $\frac{74}{73}$. Слѣдовательно

$$h : \underline{h} = 81 : 80$$
$$h : \overline{Ces} = 74 : 73.$$

Эти оба интервала приблизительно равны; $\underline{h}$ немного выше *ces*, но только въ отношенiи

$$ces : \underline{h} = 5913 : 5920$$

или приблизительно по сокращенiи

$$ces : \underline{h} = 885 : 886.$$

Слѣдовательно различiе между *ces* и $\underline{h}$ приблизительно также велико, какъ между вѣрною и температiонною квинтою того же тона.

Теперь $\underline{h}$ вѣрная терцiя *g*; если мы будемъ нисходить посредствомъ квинтъ отъ *g* до *ces*

$$g - c - f - b - es - as - des - ces,$$

то мы должны для этого сдѣлать 8 квинтовыхъ интерваловъ. Если мы всѣ эти квинты сдѣлаемъ немного больше, именно на $\frac{1}{8}$ весьма малаго интервала $\frac{886}{885}$, то *ces* сдѣлается равнымъ $\underline{h}$. Такъ какъ интервалъ $\frac{886}{885}$ лежитъ на границѣ воспринимаемыхъ различiй тоновъ, то восьмая часть этого интервала не будетъ вовсе принята во вниманiе и поэтому мы можемъ считать однозначущими слѣдующiе тоны системы Гауптманна, если мы будемъ слѣдовать квинтами отъ $ces = \underline{h}$:

$$fes = \underline{e}$$
$$ces = \underline{h}$$
$$ges = \underline{fis}$$
$$des = \underline{cis}$$
$$as = \underline{gis}$$
$$es = \underline{dis}$$
$$b = \underline{ais}.$$

Между музыкальными инструментами гармонiонъ, вслѣдствiе равномѣрно длящихся тоновъ, вслѣдствiе рѣзкости его оттѣнка и вслѣдствiе довольно явственныхъ комбинацiонныхъ тоновъ, особенно чувствителенъ къ неточностямъ настройки. Однакоже онъ допускаетъ весьма утонченную и вѣрную настройку своихъ язычковъ, отчего онъ мнѣ и показался особенно подходящимъ для опытовъ надъ вѣрною системою тоновъ. Поэтому я настроилъ въ гармонiонѣ большаго размѣра *) съ двумя мануалями одинъ язычковый регистръ, соотвѣтствующiй нижнему мануалю и другой соотвѣтствующiй верхнему такимъ образомъ, что пользуясь тонами обоихъ мануалей, я могъ вѣрно возстановить мажорные аккорды отъ *Fes*-Dur до *Fis*-Dur. Распредѣленiе тоновъ слѣдующее:

fes — as — ces — es — ges — b — des — f — as — c — es — g — b — d — f — a — c

Нижнiй мануаль. Верхнiй мануаль.

a — c — e — g — h — d — fis — a — cis — e — gis — h — dis — fis — ais — cis — eis

Нижнiй мануаль. Верхнiй мануаль.

Слѣдовательно инструментъ даетъ 15 мажорныхъ и столько же минорныхъ аккордовъ, въ коихъ большiя терцiи совершенно вѣрны, но квинты выше на $\frac{1}{8}$ того интервала, на который онѣ ниже при равномѣрной температiи. На нижнемъ мануалѣ имѣется вполнѣ вся гамма *Ces*-Dur и *G*-Dur; на верхнемъ вся гамма *Es*-Dur и *H*-Dur. Вообще между *Ces*-Dur и *H*-Dur имѣются всѣ мажорные *тоны* и всѣ они могутъ быть исполнены вѣрно въ натуральной гаммѣ; но если съ одной стороны желаютъ модулировать выше *H*-Dur, съ другой ниже *Ces*-Dur, то слѣдуетъ сдѣлать настоящее энгармоническое смѣшенiе *H* и *Ces*, причемъ высота замѣтно измѣняется на комму $\frac{81}{80}$. Изъ минорныхъ *тоновъ*, на нижнемъ мануалѣ получаются полными $\underline{H}$ или *Ces*-Moll, на верхнемъ *Dis* или *Es*-Moll **).

---

*) Работы г-дъ Шидемайеровъ (I. und P. Schiedemayer) въ Штутгардѣ.

**) Настраиванiе инструмента оказалось весьма легкимъ. Г. Шидемайеръ достигъ этого при первомъ опытѣ по слѣдующему правилу: начиная отъ *a* на нижнемъ мануалѣ, квинты *d — a*, *g — d*, *c — g* настраиваются совершенно вѣрно, вслѣдствiе чего получаются тоны *c*, *g*, *d*. Затѣмъ настраиваются мажорные аккорды $c - \underline{e} - g$, $g - \underline{h} - d$, $d - \underline{fis} - a$, что даетъ три тона $\underline{e}$, $\underline{h}$, $\underline{fis}$; наконецъ квинта $\underline{fis} - \underline{cis}$ служитъ для полученiя $\underline{cis}$. Полагая теперь $\underline{e} = fes$, $\underline{h} = ces$, $\underline{fis} = ges$, $\underline{cis} = des$, строятъ посредствомъ вѣрныхъ терцiй мажорные аккорды $fes - \underline{as} - ces$, $ces - \underline{es} - ges$, $ges - \underline{b} - des$, пока не будетъ болѣе слышно дрожанiй; наконецъ строятъ квинту $\underline{b} - \underline{f}$. Послѣ этого всѣ тоны нижняго мануаля опредѣлены. На верхнемъ мануалѣ строятъ сначала *e* квинту нижняго *a* и три мажорныхъ аккорда: $e - \underline{gis} - h$, $h - \underline{dis} - fis$, $fis - \underline{ais} - cis$ и квинту $\underline{ais} - \underline{eis}$. Затѣмъ, полагая $\underline{gis} = as$, $\underline{dis} = es$, $\underline{ais} = b$, $\underline{eis} = f$, настраиваютъ еще терцiи въ мажорныхъ аккордахъ: $as - \underline{c} - es$, $es - \underline{g} - b$, $b - \underline{d} - f$ и квинту $\underline{d} - \underline{a}$. Тогда всѣ тоны опредѣлены. Это настраиванiе гораздо легче настраиванiя ряда равномѣрно температiонныхъ тоновъ.

*

Рядъ этихъ тоновъ не вполнѣ такъ удовлетворителенъ для минорныхъ гаммъ, какъ для мажорныхъ. Именно, такъ какъ доминанта минорнаго *тона* есть квинта минорнаго и основной тонъ мажорнаго аккордовъ, а по правилу минорный аккордъ слѣдуетъ писать какъ *a — c — e*, а мажорный какъ *fes — as — ces*, то нужно чтобы воспроизводимую доминанту можно было бы въ первомъ аккордѣ написать подчеркнутою буквою, а во второмъ неподчеркнутою, т. е. доминанта должна быть однимъ изъ энгармонически мѣняющихся тоновъ, какъ въ данномъ примѣрѣ, гдѣ *e* однозначуще съ *fes*. Слѣдовательно, мы имѣемъ на инструментѣ вполнѣ вѣрными минорные *тоны*:

1) *a*- или *bb*-Moll: *d — f — a — c — e*
fes — as — ces;
2) *e*- или *fes*-Moll: *a — c — e — g — h*
ces — es — ges;
3) *h*- или *ces*-Moll: *e — g — h — d — fis*
ges — b — des;
4) *fis*-или *ges*-Moll: *h — d — fis — a — cis*
des — f — as;
5) *cis*-или *des*-Moll: *fis — a — cis — e — gis*
as — e — es;
6) *gis*-или *as*-Moll: *cis — e — gis — h — dis*
es — g — b;
7) *dis*-или, *es*-Moll: *gis — h — dis — fis — ais*
b — d — f;
8) *ais*-или *b*-Moll: *dis — fis — ais — cis — eis*
f — a — c.

Изъ нихъ послѣдніе шесть основныхъ тоновъ отъ *Ces* до *B* имѣютъ въ тоже время и мажорную гамму. Слѣдовательно мы находимъ полныя минорныя гаммы на всѣхъ ступеняхъ *h* мажорной и *e* мажорной гаммы; полныя минорныя и мажорныя скалы,—на всѣхъ ступеняхъ *h* мажорной гаммы, за исключеніемъ *e*.

При предварительныхъ опытахъ на другомъ гармоніонѣ, гдѣ въ моемъ распоряженіи были удвоенные тоны только въ предѣлахъ октавы, общей двумъ регистрамъ, я ожидалъ, что будетъ едва замѣтно, если остальные минорные *тоны* имѣли бы или немного болѣе высокую пиѳагорову септиму, или если бы даже сами по себѣ немного смутныя минорные аккорды были бы воспроизведены въ пиѳагоровой настройкѣ. Если ударяютъ отдѣльные минорные аккорды, это различіе замѣчается только немного; но если воспроизвести длинный рядъ слѣдующихъ другъ за другомъ вѣрно настроенныхъ аккордовъ и ухо привыкнетъ къ ихъ звуку, то мы будемъ такъ чувствительны къ отдѣльнымъ примѣшаннымъ невѣрностямъ, что они дѣйствительно воспроизведутъ замѣтное нарушеніе.

Нарушеніе будетъ еще наименьшимъ, если мы возьмемъ септиму, вводный тонъ, въ пиѳагоровой настройкѣ, потому что она по крайней мѣрѣ въ новѣйшихъ сочиненіяхъ почти что встрѣчается только въ доминант-септаккордѣ или въ другихъ диссонирующихъ аккордахъ. Правда, что въ вѣрномъ мажорномъ аккордѣ она звучитъ весьма грубо. Въ диссонирующемъ аккордѣ она производитъ меньшее нарушеніе, въ особенности же отъ того, что вслѣдствіе ея немного болѣе высокаго расположенія, она выдѣляется болѣе какъ вводный тонъ строя. Напротивъ минорные аккорды, составленные съ пиѳагоровыми терціями, я нашелъ рѣшительно невыносимыми, когда они примѣшивались между вѣрно настроенными мажорными и минорными аккордами. Слѣдовательно, если въ доминантсептаккордѣ допускаютъ высокую септиму, то могутъ быть составляемы еще слѣдующіе минорные *тоны*:

9) *d*-Moll: *g — b — d — f — a — cis — e*;
10) *g*-Moll: *c — es — g — b — d — fis — a*;
11) *c*-Moll: *f — as — c — es — g — h — d*;
12) *f*-Moll: *b — es — f — as — c — e — g*;
13) *b*-Moll: *es — ges — b — des — f — a — c*;
14) *es*-Moll: *as — ces — es — ges — b — d — f*.

Въ предъидущемъ рядѣ мы имѣли уже *b* и *es*-Moll. Такимъ образомъ ряды минорныхъ *тоновъ* замыкаются опять-таки такъ, что ихъ концы переходятъ другъ въ друга при энгармоническомъ смѣшеніи.

Въ большинствѣ случаевъ, тѣ музыкальныя сочиненія, которыя желаютъ исполнить въ этой системѣ настройки, могутъ быть переложены такъ, что не будетъ надобности дѣлать энгармоническихъ смѣшеній, если ширина ихъ модуляцій между различными *тонами* не слишкомъ велика. Если нельзя избѣгнуть энгармоническихъ смѣшеній, то слѣдуетъ стараться ихъ дѣлать тамъ, гдѣ слѣдуютъ другъ за другомъ два несродные между собою аккорда. Самое лучшее ихъ воспроизводить между диссонирующими аккордами. Натурально, что должно быть сдѣлано по крайней мѣрѣ одно энгармоническое смѣшеніе каждый разъ, какъ сочиненіе проходитъ почти чрезъ весь квинтовый кругъ, т. е. отъ *C*-Dur до *His*-Dur. Однако Гауптманнъ правъ, считая такой круговой оборотъ модуляціи неестественнымъ и который вообще возможенъ только вслѣдствіе неточности нашей системы тоновъ съ темпераціонною настройкою. Такой образъ дѣйствія долженъ во всякомъ случаѣ нарушать у слушателя чувство единства

тоники, потому что если даже *His* по высотѣ тона и лежитъ весьма близко *C*, или неправильнымъ образомъ дѣлается ему совершенно равнымъ, то тѣмъ не менѣе чувство предъидущей тоники для слушателя можетъ быть возстановлено только тѣмъ, что исполнятъ въ обратную сторону интервалы воспроизведенные въ началѣ. Воспоминаніе абсолютной высоты первой тоники *C*, если она дошла, послѣ продолжительныхъ модуляцій, до *His*, невозможно сохранить еще такъ точно, чтобы признать обѣ ноты однозначущими. Однако для тонкаго художественнаго чувства *His* должно быть постоянно такою тоникою, которая лежитъ далеко отъ *C* къ сторонѣ его доминанты; или, что еще вѣроятнѣе, при такой длинной модуляціи произойдетъ совершенное смѣшеніе чувства тональности и послѣ этого будетъ совершенно все равно въ какомъ *тонѣ* кончается пьеса. Вообще чрезмѣрное употребленіе рѣзкихъ модуляцій составляетъ дешевое и легкое подручное средство новѣйшихъ композиторовъ, чтобы придать сочиненію оригинальность и богатство красокъ. Однако пряностями жить нельзя, и слѣдствіемъ безпокойной модуляціи бываетъ почти всегда то, что уничтожается художественная связь сочиненія. Не слѣдуетъ забывать, что модуляціи должны быть только средствомъ, чтобы посредствомъ противоположности выдѣлить постояннее отношеніе сочиненія къ тоникѣ и возвращеніе къ ней, или для того, чтобы достигнуть отдѣльныхъ особенныхъ эффектовъ выраженія.

Такъ какъ инструменты съ двумя мануалами имѣютъ обыкновенно для каждаго мануала два особыхъ ряда язычковъ, изъ коихъ только одинъ, принимается во вниманіе для только что описанной настройки, то оба другіе ряда (8-ми и 16-ти футовые регистры), я строилъ обыкновеннымъ способомъ въ равномѣрной темпераціи; вслѣдствіе этого сравненіе этой настройки съ вѣрною становилось весьма легкимъ, такъ какъ для того, чтобы слушать тотъ же аккордъ въ той или другой настройкѣ, слѣдовало измѣнять только регистры *).

Что касается музыкальныхъ дѣйствій вѣрной настройки, то различіе между ею и темпераціонною, или греческою настройкою по вѣрнымъ квинтамъ,—все же весьма замѣтно. Вѣрные аккорды, именно мажорные въ ихъ благопріятномъ расположеніи, имѣютъ, не смотря на довольно рѣзкій оттѣнокъ звука язычковыхъ тоновъ, весьма полное и равномѣрно насыщенное благозвучіе; они льются совершенно спокойно, безъ сотрясеній и дрожаній. Но если къ нимъ приставить темпераціонные или пиѳагоровы аккорды, то они являются грубыми,

*) Указаніе для распредѣленій, которыя пополняютъ рядъ тоновъ этой системы настройки и существенно облегчаютъ способъ игры, требуя только одинъ мануалъ, даны въ приложеніи № XVII.

неясными, дрожащими и безпокойными. Различіе достаточно велико, чтобы всякій имѣющій или неимѣющій музыкальное образованіе, тотчасъ бы его замѣтилъ. Септаккорды, воспроизведенные въ вѣрной настройкѣ, имѣютъ примѣрно туже степень грубости, какъ обыкновенный мажорный аккордъ въ той же высотѣ тона и при темпераціонной настройкѣ. Разница между натуральными и темпераціонными аккордами выражается самымъ значительнымъ и непріятнымъ образомъ въ высшихъ октавахъ скалы, потому что здѣсь фальшивые комбинаціонные тоны темпераціонной настройки дѣлаются замѣтнѣе, число дрожаній при одинаковой разницѣ тоновъ больше и грубость усиливается гораздо больше, чѣмъ въ болѣе низкомъ расположеніи.

Другое обстоятельство существенной важности состоитъ въ томъ, что различіе звука между мажорными и минорными аккордами, между различными обращеніями однороднаго аккорда, между консонансами и диссонансами выдѣляется гораздо рѣзче и явственнѣе въ натуральной настройкѣ чѣмъ въ равномѣрной. Поэтому то модуляціи и становятся гораздо выразительнѣе обыкновеннаго. Многіе утонченные оттѣнки, именно тѣ, которые основываются на обращеніяхъ мажорнаго аккорда, и которые обыкновенно почти совершенно исчезаютъ, становятся ощутительными, тогда какъ съ другой стороны сила болѣе рѣзкихъ диссонансовъ усиливается контрастомъ съ вѣрными аккордами. Напр. уменьшенный септаккордъ, который такъ часто употребляется въ новѣйшей музыкѣ, почти касается, при вѣрной настройкѣ остальныхъ аккордовъ, предѣла невыносимаго.

Современные музыканты, которые за весьма рѣдкими исключеніями, никогда не слышали другой музыки, какъ той, которая воспроизводится въ темпераціонной настройкѣ, смотрятъ большею частью весьма легко на ея неточности. Неточности квинтъ весьма малы, это совершенно вѣрно; а о терціяхъ обыкновенно говорятъ, что онѣ составляютъ менѣе совершенный консонансъ, чѣмъ квинты и поэтому менѣе чувствительны къ потерѣ настройки послѣднихъ. Послѣднее обстоятельство опять таки вѣрно, пока оно ограничивается одноголосною музыкою, въ которую терціи входятъ только какъ мелодичные а не гармоничные интервалы. Но въ консонирующемъ трезвучіи, какъ это согласно показываютъ теорія и опытъ, каждый тонъ одинаково чувствителенъ къ потерѣ настройки и неудовлетворительный звукъ темпераціонныхъ трезвучій основывается существенно на невѣрныхъ терціяхъ.

Нельзя отрицать того, что система темпераціонной настройки, вслѣдствіе своей простоты, имѣетъ совершенно особыя преимущества для инструментальной музыки, что всякая другая система по-

требовала бы гораздо болѣе сложнаго механизма инструментовъ и значительно-бы затруднила ея способъ исполненія и что поэтому высокое развитіе современной инструментальной музыки сдѣлалось возможнымъ только при господствѣ настройки темпераціонной. Однако не слѣдуетъ полагать что различіе между темпераціонною и натуральною системою есть только теоретическая мелочь, неимѣющая практическаго значенія. Что это различіе также достаточно замѣтно и для слуха не особенно музыкально развитыхъ людей, это тотчасъ же показываетъ дѣйствительное наблюденіе на вѣрно настроенномъ инструментѣ. Впрочемъ старинные музыканты, привыкшіе къ вѣрнымъ интерваламъ пѣнія, такъ тщательно въ то время разрабатываемаго, испытывали тѣже самыя ощущенія; въ этомъ можно легко убѣдиться если просмотрѣть сочиненія о музыкѣ XVII и первой половины XVIII столѣтій, когда были пренія о введеніи различнаго рода темпераціонныхъ настроекъ, когда изобрѣтали и снова отвергали методъ за методомъ и когда придумывали наиболѣе искусственныя формы для инструментовъ, чтобы имѣть возможность воспроизвести энгармоническія различія ступеней, практически. Прэторій (Praetorius) *) упоминаетъ объ универсальномъ клавицимбалѣ, который онъ видалъ въ Прагѣ у придворнаго органиста императора Рудольфа II и который на протяженіи 4-хъ октавъ имѣлъ 77 клавишъ, т. е. по 19 на октаву, при чемъ не только всѣ верхнія клавиши были удвоены, но были также еще вставлены тоны между *e* и *f*, равно какъ и между *h* и *c*. По стариннымъ правиламъ для настройки, обыкновенно настраивалось нѣкоторое число тоновъ по квинтамъ, производившимъ между собою незначительныя дрожанія, а между ними настраивались вѣрными большими терціями другіе. Интервалы на которыхъ сосредоточивались ошибки назывались волками. Прэторій говоритъ: «самое лучшее, чтобы волкъ съ своимъ противнымъ воемъ оставался въ лѣсу и не нарушалъ нашей *harmonicas concordantias*». Даже Рамо, который впослѣдствіи больше всего способствовалъ введенію равномѣрной темпераціи защищалъ еще въ 1726 году **) другой родъ настройки при которой терціи болѣе употребительныхъ *тоновъ* сохранялись вѣрными на счетъ квинтъ и на счетъ *тоновъ* менѣе употребляемыхъ. Дѣло въ томъ, что настроивали восходя отъ *C* въ квинтахъ, которыя однако дѣлали слишкомъ малыми, такъ что четвертая квинта вмѣсто того чтобы быть *E* становилась вѣрною терціею *C*, именно *E*=*Fes*. Точно также при нисхожденіи четвертая квинта вмѣсто того чтобы прихо-

*) Syntagma musicum, II, Cap. XI. p. 63.

**) Nouveau Système de Musique, Chap. XXIV.

диться на *As* приходилась на *As* на вѣрную терцію тона *Fes*. Но четыре квинты между этимъ *As* и *C* нужно было необходимо сдѣлать бóльшими, потому что не *As*, а *As* удалено отъ *C* на четыре вѣрныя квинты. Эта настройка даетъ вѣрно терціи *C—E*, *G—H*, *D—Fis*, *E—Gis*; но если отъ *E* идти дальше къ сторонѣ верхней доминанты, или отъ *C* къ сторонѣ нижней доминанты, то находятъ терціи, которыя становятся все хуже и хуже; ошибка же квинтъ примѣрно въ три раза больше, чѣмъ въ темпераціонной настройкѣ. Еще въ 1762 году д'Аламбертъ могъ указать на эту систему какъ на обыкновенно употребляемую во Франціи въ противоположность равномѣрной, которую впослѣдствіи предложилъ Рамо. У Марпурга *) (Marpurg) находятъ перечисленнымъ длинный рядъ другихъ системъ настроекъ. Разъ какъ при употребленіи такихъ инструментовъ, которые имѣютъ только 12 тоновъ въ октавѣ увидали себя принужденными выносить рядъ фальшивыхъ интерваловъ, такъ какъ нужно было и къ нимъ привыкнуть, то конечно было лучше когда рѣшились совершенно отказаться отъ тѣхъ немногихъ вѣрныхъ терцій которыя имѣлись еще въ скалѣ и сдѣлать всѣ одинаковаго рода интервалы одинаково невѣрными. Натурально, что нарушеніе гораздо болѣе ощутительно если приходится слушать возлѣ вѣрныхъ интерваловъ весьма разстроенные, чѣмъ если всѣ разстроены посредственно и нѣтъ контраста съ вѣрными интервалами. Слѣдовательно, какъ только практически слѣдуетъ ограничиться 12-ю ступенями въ предѣлахъ октавы, не можетъ быть никакого сомнѣнія о превосходствѣ равномѣрной темпераціи передъ другими такъ называемыми неравномѣрными и поэтому этотъ способъ настройки сдѣлался окончательно единственно господствующимъ. Отъ этого только уклоняются смычковые инструменты съ ихъ четырьмя вѣрными квинтами *C—G—D—A—E*.

Въ Германіи равномѣрную темперацію начали употреблять еще ранѣе, чѣмъ во Франціи. Матезонъ (Matheson) въ появившемся въ 1725 году второмъ томѣ его «Critica Musica» упоминаетъ о Нейдгардѣ (Neidhard) и Веркмейстерѣ (Werckmeister), какъ объ изобрѣтателяхъ этой темпераціи. **) Себастіанъ Бахъ уже примѣнилъ ее къ клавесину, какъ это можно заключить изъ указанія

*) Versuch über die musikalische Temperatur. Breslau 1776.

**) Стр. 162 упоминаемаго сочиненія. Я нашелъ у Форкеля упомянутыми слѣдующія произведенія обоихъ авторовъ: Нейдгарда королевскаго прусскаго капельмейстера, «лучшая и легчайшая темперація монохорда. Iена 1706.» Sectio canonis harmonici. Königsberg 1724. Веркмейстера, органиста въ Кведлинбургѣ род. въ 1645 году, Musikalische Temperatur. Frankfurt und Leipzig 1691.

Кирнбергера (Kirnberger), приведеннаго Марпургомъ; Кирнбергеръ говоритъ, что онъ, какъ ученикъ старшаго Баха, долженъ былъ настраивать его клавесинъ, и долженъ былъ немного повышать всѣ терціи инструмента. Сынъ Себастіана Баха Эммануилъ, который былъ извѣстенъ какъ знаменитый исполнитель на клавесинѣ и который въ 1753 году издалъ знаменательное для своего времени произведеніе «über die wahre Art das Clavier zu spielen» требуетъ для клавесина точнаго примѣненія равномѣрной темпераціи.

Прежнія попытки ввести въ скалу болѣе 12 ступеней не дали ничего годнаго, потому что онѣ не выходили изъ вѣрнаго принципа. Онѣ всегда возвращались къ греческой системѣ Пиѳагора; тогда полагали что дѣло только въ томъ чтобы сдѣлать различіе между *cis* и *des*, *fis* и *ges* и т. п. Но это отнюдь недостаточно, а также не всегда и вѣрно. По нашему способу обозначенія можно уравнять *cis* съ *des* но мы должны различать *cis*, полученный квинтами отъ *cis*, найденнаго отношеніемъ терцій. Поэтому опыты надъ инструментами съ болѣе сложными клавіатурами до сихъ поръ не достигли никакого результата, который бы отвѣчалъ приложенному труду и затрудненію въ игрѣ. Единственный такого рода инструментъ, который употребляется еще и теперь, есть арфа съ двойными педалями, на которой можно измѣнять настройку ножнымъ нажиманіемъ.

Кромѣ привычки и отсутствія сравненія съ вѣрными интервалами, въ пользу употребленія равномѣрной темпераціи говорятъ еще и нѣкоторыя другія обстоятельства.

Прежде всего именно слѣдуетъ замѣтить, что нарушенія въ темпераціонной скалѣ, зависящія отъ дрожаній, замѣтны тѣмъ менѣе, чѣмъ быстрѣе движеніе и чѣмъ короче длительность отдѣльныхъ нотъ. Если нота такъ коротка, что можетъ состоятся только немного дрожаній во время ея длительности, то ухо не имѣетъ времени замѣтить ихъ присутствія. Дрожанія, вызываемыя темпераціоннымъ мажорнымъ трезвучіемъ суть слѣдующія:

1. Дрожанія темпераціонной квинты. Если положимъ число колебаній $a' = 440$, и сообразно этому число колебаній $c' = 264$, то темпераціонная квинта $c' - g'$ даетъ въ секунду $1\,^1/_9$ дрожаній, частью посредствомъ верхнихъ тоновъ, частью посредствомъ комбинаціонныхъ тоновъ. Эти дрожанія слышимы хорошо во всѣхъ случаяхъ.

2. Дрожанія обоихъ первыхъ комбинаціонныхъ тоновъ $c' - e'$ и $e' - g'$. При темпераціонной настройкѣ число ихъ $5^2/_3$ въ секунду. Эти дрожанія, если сила тона не слишкомъ мала, слышимы явственно при всѣхъ оттѣнкахъ звука.

3. Дрожанія одной большой терціи, — $10^1/_2$ въ секунду; они слышимы только при рѣзкихъ оттѣнкахъ съ сильными верхними тонами.

4. Дрожанія малой терціи $e - g$, — 17 въ секунду, которыя однако по большей части гораздо слабѣе дрожаній большой терціи и слышимы также явственно только въ рѣзкихъ оттѣнкахъ.

Всѣ эти дрожанія дѣлаются вдвое скорѣе, если аккордъ повысить на октаву и вдвое медленнѣе, если его на столько же понизить.

Изъ этихъ дрожаній первыя, темпераціонной квинты, имѣютъ наименѣе невыгодное вліяніе на благозвучіе. Они такъ медленны, что ихъ вообще можно только слышать въ среднихъ частяхъ скалы при продолжительно выдерживаемыхъ нотахъ; тогда они производятъ медленное волненіе аккорда, которое въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ быть очень пріятно. Всего поразительнѣе второй родъ дрожаній при болѣе мягкихъ оттѣнкахъ. Въ *Allegro* при тактѣ въ $\frac{4}{4}$ приходится почти два такта на 3 секунды. Если трезвучіе темпераціонной настройки $c' - e' - g'$ будетъ обозначено въ этомъ тактѣ въ четвертяхъ, то можно слышать изъ упомянутыхъ дрожаній $2\,^1/_8$; слѣдовательно если тонъ начинается слабо, то онъ будетъ усиливаться, потомъ снова ослабляться, еще разъ усиливаться затѣмъ ослабляться и наконецъ исчезнетъ. При быстромъ, безпокойномъ темпѣ, едва ли это составитъ нарушеніе. Конечно будетъ хуже если такой аккордъ будетъ воспроизведенъ октавою или двумя октавами выше и если на ту же длительность ноты придутся $4\,^1/_4$ или $8\,^1/_2$ дрожаній, которыя ухо тогда уже имѣетъ время воспринять какъ рѣзкую грубость.

На томъ же основаніи дрожанія третьяго и четвертаго рода, т. е. терцій, тамъ гдѣ они выдѣляются явственно въ рѣзкихъ оттѣнкахъ довольно нарушаютъ и въ среднемъ расположеніи и при быстромъ темпѣ; они нарушаютъ весьма существенно спокойствіе благозвучія, такъ какъ ихъ число вдвое или втрое болѣе чѣмъ въ предъидущемъ расположеніи. Они мало замѣтны только въ мягкихъ оттѣнкахъ или, если ихъ замѣчаютъ, то они покрыты гораздо сильнѣйшими, спокойно звучащими тонами, такъ что они тогда выдѣляются мало.

Слѣдовательно при быстро мѣняющихся нотахъ, мягкомъ оттѣнкѣ и подходящей силѣ тона, недостатки темпераціонной настройки проявляются конечно мало. Однако теперь почти что вся инструментальная музыка представляетъ быстрое движеніе; въ этой то свойственной ей быстротѣ движенія и заключается ея существенное значеніе, противоположное музыкѣ вокальной. Можно было бы конечно спросить, не ограничена ли вслѣдствіе этого инструментальная музыка въ этомъ направленіи быстраго движенія такъ односторонне,

что при ея темпераціонной настройкѣ, она не можетъ достигнуть полнаго благозвучія длящихся аккордовъ въ той же степени, какъ хорошо подготовленные исполнители музыки вокальной и что по этому она не въ состояніи достигнуть этой стороны искусства.

Темпераціонная настройка развилась впервые съ успѣхомъ на клавишныхъ струнныхъ инструментахъ и только оттуда она была мало по малу перенесена и на другіе инструменты. На клавишныхъ струнныхъ инструментахъ условія дѣйствительно особенно благопріятны, чтобы сгладить недостатки этой системы.

Дѣло въ томъ, что тоны упомянутыхъ инструментовъ имѣютъ только въ первый моментъ, непосредственно послѣ удара большую силу, которая затѣмъ быстро убываетъ. Я уже упомянулъ прежде, что вслѣдствіе этого ихъ комбинаціонные тоны существуютъ только въ первое мгновеніе и слышимы съ весьма большимъ трудомъ. Поэтому дрожанія, которыя зависятъ отъ комбинаціонныхъ тоновъ, совершенно исчезаютъ. Напротивъ дрожанія, зависящія отъ верхнихъ тоновъ устранили въ высшихъ октавахъ новѣйшихъ фортепіано, гдѣ они особенно неблагопріятны тѣмъ, что, какъ я это уже изложилъ въ пятой главѣ, значительно ослабили верхніе тоны струнъ посредствомъ способа удара и сдѣлали оттѣнокъ звука весьма мягкимъ. Поэтому недостатки настройки хотя и существуютъ на фортепіано, но гораздо менѣе замѣтны, чѣмъ на всякомъ другомъ инструментѣ съ длящимися тонами. Когда послѣ игры на моемъ гармоніумѣ, настроенномъ по натуральной настройкѣ, я игралъ на роялѣ и въ особенности, когда я бралъ на послѣднемъ рядъ аккордовъ, то все звучало фальшиво и безпокойно. Въ быстро движущихся мелодичныхъ фигурахъ и въ арпеджіо, это менѣе непріятно. Поэтому то старинные музыканты и рекомендовали главнымъ образомъ равномѣрную темперацію только для фортепіано. Матезонъ (Matheson) признаетъ для органовъ преимущество Зильбермановой неравномѣрной темпераціи, въ которой обыкновенно употребляемые *тоны* сохранены вѣрнѣе. Эммануилъ Бахъ говоритъ: что правильно настроенный клавесинъ вѣрнѣйшій изъ всѣхъ инструментовъ; въ вышеприведенномъ смыслѣ это совершенно вѣрно. Впослѣдствіи фортепіано, вслѣдствіе своей большой распространенности и представляемыхъ имъ удобствъ, сдѣлалось главнымъ инструментомъ для изученія музыки и его настройка стала образцемъ и для остальныхъ инструментовъ.

Напротивъ при рѣзкихъ органныхъ регистрахъ, въ особенности при микстурахъ (смѣсяхъ) и язычковомъ регистрѣ, недостатки темпераціонной настройки чрезвычайно ощутительны. Въ настоящее время считаютъ за неизбѣжное, что регистры микстуръ производятъ

при полной гармоніи невыносимый шумъ и что органисты покорились своей судьбѣ; однако это главнымъ образомъ обусловлено равномѣрною темпераціею, потому что квинты и терціи трубокъ, принадлежащихъ одной и той же клавишѣ, слѣдуетъ непремѣнно строить по вѣрной настройкѣ, иначе уже каждая отдѣльная нота регистра даетъ дрожанія. Если теперь квинты и терціи между нотами различныхъ клавишъ, настроены равномѣрно, то въ каждый аккордъ одновременно входятъ вѣрныя квинты и терціи съ равномѣрными, отчего происходитъ безпокойное и крикливое звуковое сочетаніе; органъ же было бы возможно такъ легко настроить посредствомъ небольшаго ряда регистровъ для каждаго *тона* и этимъ сохранить полные благозвучные консонансы *).

Кто разъ только слышалъ различіе между вѣрно настроенными и темпераціонными аккордами, тотъ не будетъ сомнѣваться, что для большаго органа было бы величайшимъ улучшеніемъ, если-бы половину его регистровъ, коихъ различіе по большей части составляютъ чистѣйшее ребячество, уничтожили и вмѣсто этого удвоили бы число тоновъ въ предѣлахъ октавы, чтобы помощью подходящихъ регистровъ можно было бы вѣрно играть въ каждомъ *тонѣ*.

Тоже самое относится и къ гармоніону. Фальшивые комбинаціонные тоны и дрожащіе аккорды является во всякомъ случаѣ причиною, почему многіе музыканты отказываются отъ этого инструмента какъ отъ фальшиво звучащаго и дѣйствующаго на нервы.

Оркестровые инструменты могутъ по большей части немного измѣнять высоту тона. Смычковые инструменты совершенно свободны въ своей интонаціи, а духовые инструменты могутъ немного повышать или понижать высоту тона посредствомъ сильнѣйшаго или слабѣйшаго вдуванія. Правда, что они настроиваются по темпераціонной настройкѣ, но искусные исполнители имѣютъ однако средства предупредить до нѣкоторой степени требованія слуха. Поэтому ходы терціями, исполненные посредственными музыкантами, звучатъ довольно часто весьма невѣрно, тогда какъ воспроизведенные искусными музыкантами съ тонкимъ слухомъ, они могутъ звучать вполнѣ удовлетворительно.

Особое дѣло для смычковыхъ инструментовъ. Они сохранили еще съ древнихъ временъ настройку струнъ по вѣрнымъ квинтамъ. Скрипка имѣетъ вѣрныя квинты $G - D - A - E$. Альтъ и віолончель $C - G - D - A$. Каждая изъ упомянутыхъ гаммъ имѣетъ еще осо-

*) Я узналъ изъ сочиненія Цамминера, что въ Silliman's American Journal of Science 1850 дано описаніе органа Пооля (Pool) который могъ быть вѣрно настроенъ посредствомъ регистровъ во всѣхъ *тонахъ*.

бую послѣдовательность пальцевъ (doigté), такъ что каждый ученикъ могъ бы легко пріучиться къ тому, чтобы примѣнять къ каждому *тону* присущую ему гамму, причемъ конечно одноименные тоны различныхъ гаммъ не должны браться одинаково, а также и терція гаммы C-Dur, когда берутъ пустую струну C альта какъ основной тонъ, не должна бы быть исполняема на пустой струнѣ E скрипки, потому что она даетъ E а не $\underline{E}$. Между тѣмъ новѣйшія скрипичныя школы со временъ Шпора (Spohr) по большей части бьютъ на то, чтобы воспроизвести ступени равномѣрной темпераціи, хотя это уже вполнѣ невозможно вслѣдствіе вѣрныхъ квинтъ пустыхъ струнъ. Но во всякомъ случаѣ большинство современныхъ скрипачей сознаютъ только необходимость различать 12 ступеней въ октавѣ. Они допускаютъ только единственное исключеніе, а именно, что при двойныхъ нотахъ, слѣдуетъ братъ тоны немного иначе, чѣмъ если бы они издавались въ отдѣльности. Но это исключеніе рѣшительно. При двойныхъ нотахъ каждый отдѣльный исполнитель чувствуетъ себя отвѣтственнымъ въ благозвучіи интервала и отъ него вполнѣ зависитъ хорошо или дурно воспроизвести консонансъ. Тогда онъ предпочитаетъ его исполнить вѣрно. Всякій скрипачъ можетъ легко убѣдиться въ слѣдующихъ фактахъ: послѣ того какъ струны настроены по вѣрнымъ квинтамъ, пусть онъ отыщетъ на струнѣ A то мѣсто, на которое слѣдуетъ поставить палецъ, чтобы получить тонъ H, который даетъ вѣрный квартовый консонансъ $H — E$. Теперь пусть при неизмѣнной постановкѣ пальцевъ онъ воспроизведетъ однимъ штрихомъ смычка тоже H съ струною D. Интервалъ $D — H$ долженъ бы былъ быть по обыкновенному способу воззрѣнія большою секстою, но онъ пиѳагорова секста. Чтобы получить консонансъ сексты $D — \underline{H}$ исполнитель долженъ отодвинуть свой палецъ внизъ на протяженіи $1^3/_5$ парижской линіи, удаленіе легко ощущаемое при постановкѣ пальцевъ и которое весьма замѣтно измѣняетъ какъ высоту тона, такъ и въ особенности благозвучіе консонанса.

Однако ясно, что если отдѣльный исполнитель чувствуетъ необходимость различать различныя значенія нотъ въ различныхъ консонансахъ, то нѣтъ никакого основанія желать удержать неудовлетворительныя терціи пиѳагоровыхъ квинтъ въ квартетѣ. Многоголосные аккорды воспроизводимые нѣсколькими исполнителями въ квартетѣ, звучатъ часто вполнѣ неудовлетворительно, тогда какъ каждый изъ нихъ въ отдѣльности въ состояніи исполнить соло вполнѣ хорошо и пріятно; однако съ другой стороны нельзя предполагать, чтобы въ квартетахъ, исполняемыхъ артистами входили фальшивые консонансы. Единственнымъ объясненіемъ этого, я полагаю, то, что опытные исполнители, одаренные тонкимъ музыкальнымъ чувствомъ, умѣютъ

брать на скрипкѣ тѣ тоны, которые они желаютъ слышать, и при этомъ не связаны правилами несовершенной школы. Что такіе первоклассные артисты играютъ дѣйствительно по натуральнымъ интерваламъ, это доказывается непосредственно весьма интересными и точными опытами Делезенна *) (Delezenne). Этотъ послѣдній опредѣлялъ значенія отдѣльныхъ нотъ мажорной скалы такъ, какъ ихъ воспроизводили искусные скрипачи и віолончелисты, играя на струнѣ съ точными дѣленіями и нашелъ, что упомянутые исполнители играли точно въ натуральныхъ терціяхъ и секстахъ, а не въ темпераціонныхъ или пиѳагоровыхъ. Я имѣлъ счастливый случай производить на моемъ гармоніонѣ такого же рода опыты съ г. Іоахимомъ (Ioachim); онъ настроивалъ струны своей скрипки согласно съ $g — d — a — e$ моего инструмента. Затѣмъ я его просилъ играть гамму и какъ только онъ воспроизводилъ терцію или сексту, я бралъ соотвѣтствующій тонъ на гармоніонѣ. Посредствомъ дрожаній, было легко узнать, что названный знаменитый музыкантъ бралъ $\underline{h}$, а не h какъ терцію g и $\underline{e}$, а не e какъ сексту того же g **).

Но если виртуозы, которые знаютъ въ совершенствѣ играемыя ими вещи, и въ состояніи превзойдти недостатки ихъ школы и темпераціонной системы, то для второстепенныхъ талантовъ было бы чрезвычайнымъ облегченіемъ достичь совершенно полнаго ансамбля, если бы ихъ пріучали съ самаго начала играть гаммы въ натуральныхъ

---

*) *Recueil des travaux de la Société des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille, 1826 et premier semestre 1827. Mémoire sur les valeurs numériques des notes de la gamme par* M. Delezenne. Наблюденія надъ соотвѣтствующими отношеніями при пѣніи смотри ниже въ приложеніи XVIII.

**) Гг. Корню (Cornu) и Меркадье (Mercadier) недавно обнародовали другаго рода наблюденія (Comptes rendus de l'Acad. et Sc, de Paris 8 et 22 Février 1869). Они заставляли музыкантовъ настраивать терціи мажорнаго аккорда то въ мелодическомъ слѣдованіи, то въ гармоническомъ сочетаніи. Въ послѣднемъ случаѣ постоянно выбирали терцію 4 : 5. Но если наблюдатели настраивали въ мелодичномъ слѣдованіи тоновъ, то они выбирали немного болѣе высокую терцію. Противъ этого я долженъ возразить, что терція взятая въ мелодичномъ слѣдованіи, вообще не особенно явственно характеризованный интервалъ и что всѣ новѣйшіе музыканты привыкли къ болѣе высокимъ терціямъ свойственнымъ фортепіано. Я нахожу, что въ отдѣльномъ слѣдованіи $c — e — g$, изолированномъ отъ другихъ частей скалы, трудно сдѣлать съ достовѣрностью выборъ между натуральною и пиѳагоровою терціею. Когда же я играю одну хорошо мнѣ извѣстную мелодію одноголосно на гармоніонѣ, то я нахожу, что пиѳагоровы терціи звучатъ постоянно напряженно, натуральныя же успокоительно и мягко. Только при вводномъ тонѣ пожалуй выразительнѣе брать болѣе высокую терцію.

интервалахъ и большій трудъ первыхъ упражненій былъ бы съ избыткомъ вознагражденъ послѣдующими результатами. Вообще какъ только привыкнуть къ звуку вѣрныхъ консонансовъ, различіе одноименныхъ нотъ въ натуральной настройкѣ воспринять гораздо легче, чѣмъ это обыкновенно полагаютъ. Разница $\underline{a}$ и a въ консонирующемъ аккордѣ на моемъ гармоніонѣ поражала меня также быстро и несомнѣнно, какъ и разница A и As на фортепіано.

Конечно я слишкомъ мало знаю технику скрипичной игры, чтобы отважиться здѣсь дать предложенія для окончательнаго вывода правилъ системы тоновъ для смычковыхъ инструментовъ. Это должно быть предоставлено артистамъ на этихъ инструментахъ, обладающимъ одновременно и способностями композитора. Такіе артисты будутъ также въ состояніи легко убѣдиться въ вѣрности приведенныхъ фактовъ посредствомъ своего слуха и увидѣть, что здѣсь дѣло идетъ не о безполезныхъ математическихъ соображеніяхъ, а практически весьма важныхъ вопросахъ.

Подобное же бываетъ и съ современными пѣвцами. Въ пѣніи интонація совершенно свободна, тогда какъ на смычковыхъ инструментахъ, тоны пустыхъ струнъ имѣютъ неизмѣнную высоту. Въ пѣніи высота тона можетъ всего легче и совершеннѣйшимъ образомъ слѣдовать требованіямъ тонкаго музыкальнаго слуха; поэтому и всякая музыка происходитъ отъ пѣнія, которое должно всегда оставаться истинною и естественною школою всякой музыки. Пѣвецъ можетъ вѣрно и явственно воспроизводить только такія отношенія тоновъ, которыя вѣрно и явственно воспринимаетъ ухо и поэтому, то, что пѣвецъ поетъ легко и естественно, то и слушатель найдетъ естественнымъ и удобопонятнымъ.

До XVII столѣтія пѣвцы обучались по монохорду, для котораго въ срединѣ XVI столѣтія, Царлино ввелъ правильную натуральную настройку. Образованіе пѣвцовъ того времени происходило съ такою тщательностью, о которой мы въ настоящее время конечно не можемъ имѣть и понятія. Можно еще видѣть теперь по итальянской церковной музыкѣ XV и XVI столѣтій, что она соображена на вѣрнѣйшемъ благозвучіи консонансовъ и что всё ея дѣйствіе уничтожается какъ только они воспроизводятся съ недостаточною вѣрностью.

Нельзя не сознать, что въ настоящее время только немногіе даже изъ нашихъ оперныхъ пѣвцовъ въ состояніи исполнить небольшое многоголосное предложеніе, неимѣющее совсѣмъ сопровожденія или только сопровожденное посредствомъ немногихъ аккордовъ, какъ это напр. въ тріо масокъ Донъ-Жуана Моцарта, такъ, чтобы доставить слушателю полное довольство отъ вѣрнаго благозвучія. Аккорды

звучатъ почти всегда немного рѣзко и неувѣренно, такъ что безпокоятъ слушателя, одареннаго музыкальнымъ ухомъ. Но гдѣ же должны учиться наши пѣвцы пѣть вѣрно и сдѣлать свое ухо чувствительнымъ къ благозвучію вѣрныхъ аккордовъ. Съ самаго начала они привыкаютъ пѣть по равномѣрной настройкѣ фортепіано. Если имъ данъ какъ сопровожденіе мажорный аккордъ, то они могутъ воспроизвести или съ его основнымъ тономъ, или съ его терціею или квинтою, консонансъ. При этомъ имъ остается протяженіе почти въ пятую часть полутона, въ предѣлахъ котораго ихъ голосъ можетъ блуждать, ненарушая рѣшительнымъ образомъ гармоніи, и даже если онъ восходитъ немного болѣе, чѣмъ это требуетъ консонансъ съ слишкомъ высокою терціею, или нисходитъ немного болѣе, чѣмъ это требуетъ консонансъ съ слишкомъ низкою квинтою, то благозвучіе аккорда не станетъ еще значительно хуже. Пѣвецъ, который учится помощью темпераціоннаго инструмента, не имѣетъ никакой основы, по которой бы онъ могъ соразмѣрять несомнѣнно и точно высоту тона своего голоса *).

Съ другой стороны слышать часто четырехъ любителей музыки, которые часто спѣвались вмѣстѣ, поющихъ вполнѣ вѣрно звучащіе квартеты. По моему собственному опыту, я бы могъ сказать, что чаще слышать квартеты, исполняемые вполнѣ вѣрно молодыми людьми, которые мало или ничего другаго не пѣли кромѣ своихъ 4-хъ-голосныхъ пѣсень, но которые однако часто и правильно въ этомъ упражняются, чѣмъ исполняемые учеными солистами, привыкшими къ сопровожденію фортепіано или оркестра. Но вѣрность пѣнія до такой степени составляетъ первѣйшее и главнѣйшее условіе его красоты, что вѣрно исполненное пѣніе, даже слабымъ и мало обработаннымъ голосомъ звучитъ всегда пріятно, тогда какъ полнозвучнѣйшій и обработаннѣйшій голосъ, оскорбляетъ слухъ, когда онъ детонируетъ или переходитъ надлежащую высоту.

Здѣсь происходитъ совершенно тоже самое, что и съ смычковыми инструментами. Обученіе нашихъ современныхъ пѣвцовъ помощью сопровожденія темпераціоннаго инструмента недостаточно, но хорошіе музыкальные таланты могутъ посредствомъ упражненія попасть на вѣрный путь и преодолѣть ошибки школы; это имъ удается быть можетъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ они рѣже посѣщали упомянутую школу, хотя съ другой стороны я этимъ не хочу конечно отрицать, что бѣглость въ пѣніи и устраненіе отъ всякаго рода естественныхъ неровностей голоса могутъ быть достигнуты только школою.

Но очевидно, что нѣтъ никакой надобности настраивать инстру-

*) Смотри приложеніе XVIII.

менты, которыми пользуются пѣвцы при своемъ обученіи, по темпераціонной настройкѣ. Для такихъ упражненій достаточенъ одинъ вѣрно настроенный отдѣльный *тонъ*. Нѣтъ надобности играть сонаты на томъ фортепіано, которое предназначено для обученія пѣнію. Конечно было бы лучше, если бы пѣвецъ упражнялся на вѣрно настроенномъ органѣ или гармоніонѣ, гдѣ помощью двухъ клавіатуръ можно даже пользоваться всѣми *тонами*. Выдерживаемые тоны слѣдуетъ предпочитать какъ сопровожденіе, потому что какъ только пѣвецъ хотя бы только немного измѣнилъ вѣрную высоту тона, онъ тотчасъ же бы самъ услышалъ дрожанія производимыя его голосомъ съ звукомъ инструмента. Слѣдуетъ обратить на эти дрожанія его вниманіе и онъ будетъ имѣть въ этомъ средство контролировать точнѣйшимъ образомъ свой собственный голосъ. На вѣрно настроенномъ гармоніонѣ, какъ я въ этомъ убѣдился посредствомъ опыта, это исполнить совершенно легко. Только тогда, когда пѣвецъ самъ тотчасъ же услышитъ каждое малѣйшее уклоненіе отъ вѣрной высоты тона, ему будетъ возможно такъ утонченно принаровить движенія его гортани и напряженіе его голосовыхъ связокъ, что онъ съ полною явственностью воспроизведетъ тонъ, требуемый его слухомъ. Если требуютъ утонченной работы мускуловъ человѣческаго тѣла, слѣдовательно въ данномъ случаѣ мускуловъ гортани, то надо имѣть также и точное срество, чтобы распознать вѣрно ли достигнута цѣль. Для голоса, когда его сопровождаютъ вѣрными выдерживаемыми аккордами, такое средство составляютъ дрожанія. Но темпераціонные аккорды, которые сами даютъ дрожанія, для этого совершенно непригодны.

Наконецъ, какъ я полагаю, нельзя не признать вліянія темпераціонной настройки на способъ музыкальной композиціи. Спачала это вліяніе было благопріятно; оно содѣйствовало тому, что композиторы равно какъ и исполнители съ величайшею легкостью могли воспроизводить движенія въ разныхъ *тонахъ*, что сдѣлало возможнымъ богатство модуляцій, котораго прежде не было. Но съ другой стороны нельзя не признать, что измѣненная настройка также побуждала къ такому богатству модуляцій. Въ самомъ дѣлѣ, если благозвучіе консонирующихъ аккордовъ уже не было совершенно вѣрно, и различія между ихъ обращеніями изглаживались, то нужно было стараться замѣнить посредствомъ болѣе сильныхъ средствъ, частымъ употребленіемъ рѣзкихъ диссонансовъ и непривычныхъ для слуха модуляцій то, что потеряли въ характеристическомъ выраженіи, принадлежащіе *тону* аккорды. Поэтому то во многихъ новѣйшихъ сочиненіяхъ, диссонирующіе септаккорды составляютъ большинство аккордовъ, а консонирующіе только исключеніе; однако никто не

можетъ сомнѣваться, что должно бы было быть наоборотъ и что продолжающіеся смѣлые модуляціонные скачки угрожаютъ совершеннымъ нарушеніемъ чувства тональности. Это грустные симптомы для дальнѣйшаго развитія искусства. Механизмъ инструментовъ и воззрѣніе на легкость исполненія стремятся пересилить естественныя требованія слуха и угрожаютъ разрушить принципъ стиля новѣйшаго искусства, неизмѣнное господство тоники и тоническаго аккорда. Наши послѣдніе великіе композиторы Моцартъ и Бетховенъ жили въ началѣ того періода, когда началось господство равномѣрной температіи. Моцартъ имѣлъ еще возможность дѣлать многочисленныя изученія въ сочиненіяхъ для пѣнія. Онъ былъ величайшимъ знатокомъ въ воспроизведеніи наиріятнѣйшихъ благозвучій, когда онъ желалъ этого достигнуть, но за то онъ и былъ въ этомъ почти что послѣдній. Бетховенъ завладѣлъ отважно тѣмъ богатствомъ, которое могла произвести разработанная инструментальная музыка; для его могущественной воли это было самымъ податливымъ и ко всему подготовленнымъ средствомъ, въ которое онъ съумѣлъ вложить такую силу движенія, какъ передъ нимъ никто. Но съ человѣческимъ голосомъ онъ обошелся какъ съ вспомогательнымъ средствомъ и поэтому голосъ уже не одарилъ его высшими очарованіями своего благозвучія.

При всемъ этомъ я не знаю, было ли такъ необходимо пожертвовать вѣрностью настройки удобствамъ инструментальной музыки. Какъ только скрипачи рѣшатся играть гаммы по вѣрной настройкѣ, что едва ли можетъ произвести ощутительныя затрудненія, то всѣ остальные инструменты оркестра также будутъ въ состояніи уступить настолько, чтобы принаровиться къ вѣрной настройкѣ скрипокъ. Впрочемъ, между этими послѣдними роги и трубы имѣютъ уже натуральную настройку. Кромѣ того, здѣсь слѣдуетъ еще замѣтить, что если при модуляціяхъ положить въ основаніе натуральную систему, то, уже при относительно простыхъ оборотахъ модуляціи, должны входить энгармоническія смѣшенія, которыя бы не были при темпераціонной системѣ.

Мнѣ кажется, что новая тоника, къ которой желаютъ перейдти, должна быть необходимо сродна той тоникѣ, въ которой находятся; чѣмъ сродство будетъ ближе, тѣмъ переходъ менѣе рѣзокъ. Далѣе, нельзя совѣтовать оставаться долго въ такомъ *тонѣ*, коего тоника не въ близкомъ сродствѣ съ главною тоникою сочиненія. Съ этимъ вообще согласуются также обыкновенно даваемыя правила для модуляцій. Легчайшіе и обыкновеннѣйшіе переходы происходятъ, какъ извѣстно, въ *тонъ* доминанты и субдоминанты, такъ какъ оба эти тона въ сущности ближайшіе сродные первой тоники. Слѣдователь-

*

но если главный *тонъ* *C*-Dur, то можно непосредственно перейдти въ *G*-Dur, при чемъ тоны *F* и *A* гаммы *C*-Dur, преобразуются въ *Fis* и *A*. Или можно перейдти въ *F*-Dur, если замѣнить *H* и *D* посредствомъ *B* и *D*. Послѣ того какъ этотъ шагъ сдѣланъ, часто переходятъ къ *тону*, коего тоника сродна съ *C* только во второй степени, т. е. отъ *G* къ *D*, или отъ *F* къ *B*. Но если бы такимъ способомъ пожелали продолжать модулировать дальше, то пришли бы къ *тонамъ* *A* и *Es*, коихъ взаимная связь съ начальною тоникою *C* была бы еще только весьма неявственною и въ которыхъ во всякомъ случаѣ нельзя было бы совѣтовать оставаться долго, если бы не желали слишкомъ ослабить чувство главнаго *тона*.

Съ другой стороны можно также слѣдовать отъ главной тоники *C* къ ея терціямъ и секстамъ *E* и *A*, или къ *Es* и *As*. Въ темпераціонной настройкѣ эти интервалы однозначущи съ переходомъ чрезъ *G* и *D* къ *A* и *E*, или чрезъ *F* и *B* къ *Es* и *As*. Однако они различаются въ высотѣ тона, какъ это уже показываютъ различныя обозначенія значками *A* и *A* и т. д. Въ темпераціонной настройкѣ повидимому дозволено перейдти отъ *c* въ *тонъ* *a* интерваломъ сексты; затѣмъ обратно посредствомъ квинтъ къ *d*, *g* и наконецъ къ *c*. Но въ сущности при этомъ приходятъ къ другому *c*, отличному отъ исходнаго. При такомъ переходѣ, который во всякомъ случаѣ не вполнѣ натураленъ, можно было бы допустить въ вѣрной настройкѣ энгармоническое смѣшеніе; самое лучшее это сдѣлать когда находятся въ *тонѣ* *d*, такъ какъ *d* равно какъ и *d* сродны съ *c* во второй степени. При болѣе сложныхъ модуляціяхъ новѣйшихъ композиторовъ, такія энгармоническія замѣны приходилось бы натурально дѣлать часто. Гдѣ ихъ слѣдуетъ помѣстить, это долженъ будетъ рѣшить для отдѣльныхъ случаевъ вкусъ; однако я полагаю, что вообще можно было бы посовѣтывать удержать уже упомянутое выше правило и выбрать настройки новыхъ тоникъ, входящихъ посредствомъ модуляцій, такъ, чтобы онѣ сохранили возможно тѣсное сродство съ главною тоникою. Энгармоническія замѣны всего менѣе замѣчаются, когда онѣ воспроизводятся до или послѣ рѣзко диссонирующихъ аккордовъ, напр. уменьшенныхъ септаккордовъ. Впрочемъ, такія энгармоническія перемѣщенія высоты тона явственно и съ цѣлью воспроизводятся теперь уже скрипачами и гдѣ имъ слѣдуетъ быть, онѣ производятъ даже весьма хорошій эффектъ *).

*) Примѣръ у Науманна (C. E. Naumann) Bestimmungen der Tonverhältnisse. Leipzig 1858. Стр. 48 и слѣдующія.

ГЛАВА XVII.

О диссонирующихъ аккордахъ.

Если въ многоголосныхъ сочиненіяхъ нѣсколько голосовъ должны двигаться другъ возлѣ друга и вмѣстѣ съ тѣмъ мелодично, то вообще должно быть удержано то правило, что они должны между собою составлять консонансы, потому что ненарушимое сліяніе слуховыхъ ощущеній происходитъ только тогда, когда они созвучны какъ только они будутъ диссонирующими, то отдѣльные звуки взаимно нарушаются и каждый мѣшаетъ ненарушенному теченію другаго. Къ этому условію, скорѣе эстетическому, присоединяется еще другое чисто чувственное, а именно что консонирующія звуковыя сочетанія даютъ пріятный родъ нѣжнаго и равномѣрнаго возбужденія слуховыхъ нервовъ, который отличается бо́льшимъ разнообразіемъ отъ возбужденія отдѣльнымъ звукомъ, тогда какъ диссонансы, вслѣдствіе своихъ прерывностей доставляютъ слуховымъ нервамъ мучительный и утомительный родъ возбужденія.

Между тѣмъ правило, что различные голоса многоголоснаго сочиненія должны между собою составлять консонансы, не безъ исключеній. Эстетическая причина для этого правила не можетъ противустоять тому, чтобы различные голоса сдѣлались диссонирующими при извѣстныхъ условіяхъ и на короткое время, если только посредствомъ способа голосоведенія позаботились о томъ, чтобы веденіе движущихся другъ возлѣ друга голосовъ во всякомъ случаѣ оставалось явственнымъ. Слѣдовательно при этомъ къ обыкновенному закону гаммы и *тона*, которому подчиняется веденіе каждаго голоса, присоединяются еще особые законы для веденія голосовъ въ диссонирующихъ аккордахъ. Далѣе, чувственное условіе значительнѣйшей пріятности консонансовъ не можетъ исключить диссонансовъ потому, что если чувственно пріятное и есть важное условіе эстетически прекраснаго, то тѣмъ не менѣе оно съ нимъ не однозначаще. Напротивъ, во всѣхъ искусствахъ мы пользуемся противоположнымъ

пріятному, т. е. чувственно непріятнымъ для того, чтобы частью посредствомъ контраста выдѣлить ярче симпатичность чувственно пріятнаго, частью же для того, чтобы достигнуть до сильнаго страстнаго выраженія. Диссонансы употребляются въ музыкѣ въ томъ же смыслѣ. Они суть частью средство контраста, чтобы усилить впечатлѣніе консонансовъ, частью средство выраженія, и служатъ не только для особыхъ отдѣльныхъ душевныхъ движеній, а вообще для того чтобы усилить впечатлѣніе побужденія и стремленія впередъ въ музыкальномъ движеніи, потому что ухо утомленное диссонансами стремится къ воспринятію спокойнаго теченія тоновъ въ вѣрныхъ консонансахъ. Въ этомъ послѣднемъ смыслѣ, диссонансы имѣютъ важное примѣненіе въ особенности же непосредственно передъ заключеніемъ; здѣсь то они также постоянно и были употребляемы прежними маэстро полифонической музыки среднихъ вѣковъ. Но эта цѣль ихъ употребленія требуетъ также и того, чтобы движеніе голосовъ было распредѣлено такъ, чтобы слушатель замѣтилъ съ самаго начала какъ голоса стремятся къ консонирующему заключенію, которое правда что можетъ быть замедлено или даже избѣгаемо, но предчувствіе котораго все таки составляетъ единственно оправдываемое условіе существованія диссонансовъ.

Такъ какъ всевозможныя ирраціональныя отношенія тоновъ диссонирующія и ограничено только число консонансовъ, то число возможныхъ диссонирующихъ аккордовъ было бы безконечно велико, если бы отдѣльные голоса, которые составляютъ диссонирующій аккордъ, не слѣдовали, по упомянутымъ выше соображеніямъ, закону мелодичнаго движенія, т. е. не должны были бы двигаться въ предѣлахъ гаммы. Консонансы имѣютъ самостоятельное право къ существованію; по нимъ образовались наши современныя гаммы. Диссонансы же допущены только какъ переходъ къ консонансамъ. Они не имѣютъ никакого самостоятельнаго права къ существованію и поэтому голоса въ нихъ остаются подчиненными тому закону хода въ ступеняхъ гаммы, который установленъ для консонансовъ.

Переходя къ перечисленію отдѣльныхъ диссонирующихъ интерваловъ, я замѣчу, что въ теоретической музыкѣ обыкновенно разсматриваютъ то расположеніе диссонирующихъ аккордовъ за нормальное, въ которомъ ихъ отдѣльные тоны составляютъ между собою рядъ терцій. Именно это есть правило для септаккордовъ, которые состоятъ изъ основнаго тона, его терціи, его квинты и его септимы. Квинта съ терціею, а септима съ квинтою составляютъ интервалъ терціи. Такимъ образомъ мы можемъ себѣ представить квинту, сложенную изъ двухъ терцій, а септиму изъ трехъ. Посредствомъ обращенія терцій мы получимъ сексты; посредствомъ обращенія квинтъ,

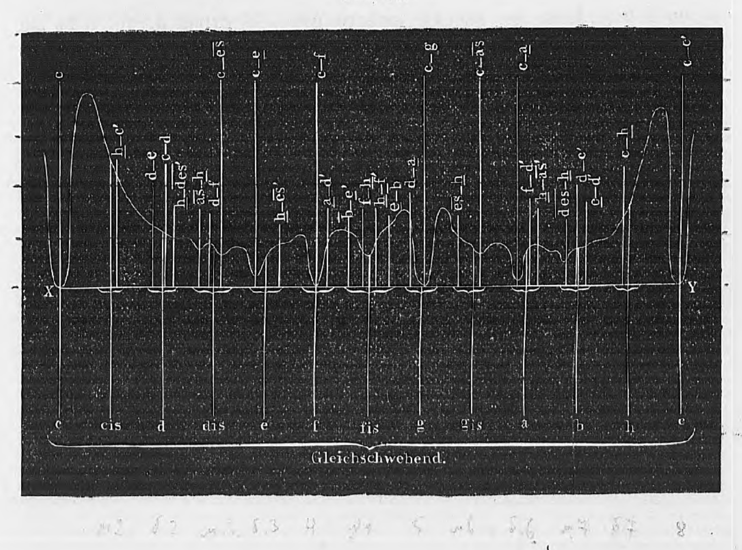
кварты и обращеніемъ септимъ,—секунды. Слѣдовательно этимъ путемъ мы находимъ всѣ интервалы, встрѣчающіеся въ гаммѣ.

Если мы примѣнимъ измѣненное нами обозначеніе тоновъ Гауптманна, то окажется какъ разные одноименные интервалы различаются по ихъ величинѣ. Мы должны только принять во вниминіе что $\bar{c}$ на комму выше C, $\underline{C}$ на двѣ коммата ниже $\bar{c}$ и на одну ниже C. Комма же примѣрно пятая часть полутона.

Чтобы одновременно дать наглядный обзоръ, частью для величины, частью для грубости отдѣльныхъ диссонирующихъ интерваловъ, я построилъ фиг. 61, въ которой кривая грубости взята изъ фиг. 60. Основная линія XY обозначаетъ интервалъ октавы, въ который внесены отдѣльные консонирующіе и диссонирующіе интервалы по ихъ величинѣ въ скалѣ. На нижней сторонѣ основной линіи отложены 12 равныхъ полутоновъ темпераціонной скалы; на верхней консонирующіе и диссонирующіе интервалы, которые попадаются въ натуральныхъ гаммахъ. Ширину этихъ интерваловъ слѣдуетъ постоянно брать отъ точки X до соотвѣтствующей вертикальной линіи, отвѣчающей интервалу. Перпендикуляры, отвѣчающіе консонансамъ, продолжены до верхняго края чертежа; напротивъ, отвѣчающіе диссонансамъ, короче. Высота этихъ перпендикуляровъ до той точки, гдѣ они пересѣкаютъ кривую грубости, отвѣчаетъ грубости, которую бы примѣрно дало соотвѣтствующее звуковое сочетаніе при оттѣнкѣ звука скрипки.

Если мы тоны гаммы распредѣлимъ по терціямъ, то найдемъ различныя терціи, квинты и септимы *тона*.

Фиг. 61.



А. тоны мажорной гаммы:

$$\underline{h}-d \mid f-\underline{a}-c-\underline{e}-g-\underline{h}-d \mid f-\underline{a}$$
$$\tfrac{6}{5}\quad \tfrac{32}{27}\quad \tfrac{5}{4}\quad \tfrac{6}{5}\quad \tfrac{5}{4}\quad \tfrac{6}{5}\quad \tfrac{5}{4}\quad \tfrac{6}{5}\quad \tfrac{32}{27}\quad \tfrac{5}{4}$$

Б. тоны минорной гаммы:

$$\underline{h}-d \mid f-\overline{as}-c-\overline{es}-g-\underline{h}-d \mid f-as$$
$$\tfrac{6}{5}\quad \tfrac{32}{27}\quad \tfrac{6}{5}\quad \tfrac{5}{4}\quad \tfrac{6}{5}\quad \tfrac{5}{4}\quad \tfrac{5}{4}\quad \tfrac{6}{5}\quad \tfrac{32}{27}\quad \tfrac{6}{5}.$$

Для минорной гаммы была взята обыкновенная форма съ большою септимою, такъ какъ гамма съ малою септимою не даетъ другихъ интерваловъ, какъ мажорной гаммы.

I. Терціи и сексты.

Въ натуральную мажорную или минорную гамму, какъ видно изъ предъидущей таблицы, входятъ три рода терцій которыя при обращеніи даютъ столько же родовъ секстъ, именно:

1) Натуральная большая терція $\frac{5}{4}$ и ея обращеніе малая секста $\frac{8}{5}$, обѣ созвучны.

2) Натуральная малая терція $\frac{6}{5}$ и ея обращеніе большая секста $\frac{5}{3}$, также обѣ созвучны.

3) Пиѳагорова малая терція $\frac{32}{27}$ между предѣльными тонами *тона* d и f. Если бы ввести вмѣсто строя d, строй $\underline{d}$, то тотъ же интерваль оказался бы между $\underline{h}$ и $\underline{d}$. Если сравнить эту диссонирующую терцію $d-f$ по величинѣ съ консонирующею малою терціею $\underline{d}-f$, то первая будетъ меньше послѣдней на комму, такъ какъ d на комму выше $\underline{d}$. Пиѳагорова малая терція немного усупаетъ по благозвучію натуральной малой терціи, но ихъ различіе въ этомъ отношеніи не такъ велико, какъ различіе соотвѣтствующихъ обоихъ большихъ терцій. Это различіе основывается, во первыхъ, на томъ, что большая терція болѣе совершенный консонансъ, чѣмъ малая терція и что поэтому потеря настройки вредитъ болѣе первой, чѣмъ послѣдней. Кромѣ того существуетъ также различіе въ комбинаціонныхъ тонахъ. Вѣрная малая терція $\underline{d}'''-f'''$ образуетъ комбинаціонный тонъ b и слѣдовательно достигаетъ вѣрнаго трезвучія B-Dur. Пиѳагорова терція $d'''-f'''$ даетъ комбинаціонный тонъ $\underline{a}$ и слѣдовательно переходитъ въ аккордъ $d-f-\underline{a}$, который не совершенно вѣрный минорный аккордъ. Но такъ какъ невѣрная квинта $\underline{a}$, только

слабо звучитъ въ низкихъ комбинаціонныхъ тонахъ, то различіе едва замѣтно. Кромѣ того на практикѣ почти что не возможно интерваль настраивать такъ точно, чтобы комбинаціонный тонъ былъ $\underline{a}$, а не a. Но при пиѳагоровой большой терціи $c''-e''$ комбинаціонный тонъ cis, что естественно болѣе нарушительно, чѣмъ не совершенно вѣрная квинта $\underline{a}$ при звуковомъ сочетаніи $d-f$.

Пиѳагорова большая терція не входитъ въ интервалы гаммъ, требуемыхъ гармоничическою музыкою. Если въ минорной гаммѣ желали бы воспользоваться b, вмѣсто малой септимы $\overline{b}$, то такою терціею было бы $b-d$.

Обращеніе терціи $d-f$ есть пиѳагорова большая секста $f-d\ \frac{27}{16}$, которая на комму больше натуральной большой сексты и которой она весьма значительно уступаетъ по благозвучію, какъ это ясно показываетъ фиг. 61.

II. Квинты и кварты.

Квинты слагаются просто изъ 2-хъ терцій; смотря по роду слагаемыхъ терцій, мы получаемъ различные роды квинтъ.

4) Вѣрная квинта $\frac{3}{2}$ состоитъ изъ натуральной большой и таковой же малой терціи. Ея обращеніе даетъ вѣрную кварту $\frac{4}{3}$; обѣ созвучны. Примѣры въ мажорной гаммѣ: $f-c$, $\underline{a}-\underline{e}$, $c-g$, $\underline{e}-\underline{h}$, $g-d$

5) Невѣрная квинта $d-\underline{a}\ \frac{40}{27}$ на комму меньше вѣрной квинты $d-a$; она состоитъ изъ большой и пиѳагоровой малой терціи. Она звучитъ какъ плохо настроенная квинта и даетъ явственно различаемые удары. Въ одночертной октавѣ, число этихъ ударовъ 11 въ секунду. Ея обращеніе невѣрная кварта $\underline{a}-d\ \frac{27}{20}$, которая также рѣзко диссонируетъ. Кварта $\underline{a}-d$ дѣлаетъ столько же ударовъ какъ квинта $d-\underline{a}'$, если въ обѣихъ тонъ d одинаковъ.

6) Фальшивая квинта $\underline{h}-f\ \frac{64}{45}$, состоитъ изъ одной натуральной и одной пиѳагоровой малой терціи $\underline{h}-d$ и $d-f$ и поэтому, какъ это уже показываетъ нотное обозначеніе, примѣрно на полутонъ меньше вѣрной квинты. Она довольно грубый диссонансъ, приближающійся по грубости къ большой секундѣ. Ея обращеніе, фальшивая кварта или тритонъ $f-\underline{h}\ \frac{45}{32}$, содержитъ три цѣлыхъ тона $f-g$, $g-\underline{a}$, $\underline{a}-\underline{h}$, и представляетъ почти туже грубость, будучи примѣрно меньше ея на комму. Именно фальшивая квинта $\underline{h}-f$ приблизительно равна $ces-f$, и если сдѣлать этотъ интерваль меньше на комму, то получаютъ фальшивую кварту $ces-\underline{f}$. Такъ какъ, строго говоря, ces не вполнѣ равно $\underline{h}$, то различіе между обоими интер-

валами немного меньше чѣмъ на комму $\frac{81}{80}$, именно на $\frac{2048}{2025}$, или сокращенно на $\frac{89}{88}$. На клавишныхъ инструментахъ оба интервала совпадаютъ вмѣстѣ.

7) Увеличенная квинта минорнаго *тона* $\overline{es} - \underline{h}$ $\frac{25}{16}$, состоитъ изъ двухъ большихъ терцій $\overline{es} - g$ и $g - \underline{h}$. Она приблизительно на двѣ коммата меньше малой сексты, какъ это видно, если вмѣсто $\underline{h}$ поставить приблизительно той же высоты *ces*. Слѣдовательно $\overline{es} - \underline{h}$ равно $\overline{es} - ces$; но консонирующая секста есть $\underline{es} - ces$, а $\overline{es}$ на двѣ коммата выше $\underline{es}$. Увеличенная квинта замѣтно грубѣе натуральной малой сексты, съ которою она совпадаетъ на клавишныхъ инструментахъ. Ея обращеніе,—уменьшенная кварта $\underline{h} - \overline{es}$, $\frac{32}{25}$, на двѣ коммата выше натуральной большой терціи и значительно грубѣе послѣдней, но на клавишныхъ инструментахъ съ нею совпадаетъ.

Двѣ малыя терціи натуральныя или пиѳагоровы не могутъ стоять другъ возлѣ друга въ натуральномъ слѣдованіи терцій мажорной или минорной гаммы. Конечно въ септимовомъ и квартовомъ ладѣ могутъ составиться интервалы $\underline{a} - \overline{es}$ и $\underline{e} - \overline{b}$ $\frac{36}{25}$, сложенные изъ двухъ натуральныхъ малыхъ терцій; они на комму больше обыкновенныхъ фальшивыхъ квинтъ $\underline{h} - f'$ (или $\underline{a} - es$ въ *b*-Dur, или $\underline{e} - b$ въ *f*-Dur) и замѣтно ихъ грубѣе.

III. Септимы и секунды.

Три терціи сложенныя вмѣстѣ даютъ септимы; начиная съ самыхъ малыхъ, мы получимъ слѣдующія различныя величины септимы:

8) Уменьшенная септима минорнаго *тона* $\underline{h} - \overline{as}' = (\underline{h} - d') + (d - f') + (f' - \overline{as}')$, т. е. обнимаетъ двѣ натуральныя и одну пиѳагорову малую терцію. Ея численное отношеніе $\frac{128}{75}$; она приблизительно на двѣ коммата больше большой сексты, какъ это видно, если положить $\underline{h} - \overline{as} = ces - \underline{as}$. Интервалъ $ces - as$, меньшій на двѣ коммата, былъ бы вѣрною большою секстою. Его диссонансъ довольно рѣзокъ и грубъ, подобно диссонансу пиѳагоровой большой сексты, которая меньше на комму. Напротивъ его обращеніе увеличенная секунда $\overline{as} - \underline{h}$, не многимъ грубѣе натуральной малой терціи. Ея численное отношеніе $\frac{75}{64}$ весьма близко къ отношенію $\frac{7}{6}$, $(\frac{75}{64} = \frac{7}{6} \cdot \frac{225}{224})$. Если расширить эту секунду до ноны $\frac{7}{3}$, то она становится довольно благозвучною, примѣрно также какъ довольно несовершенный, консонансъ малой децимы $\frac{12}{5}$.

9) Тѣсная малая септима $g - f'$, $\underline{h} - \underline{a}'$ или $d - c$ $\frac{16}{9}$, состоитъ изъ одной большой, одной натуральной и одной пиѳагоровой малой терціи; $g - f' = (g - \underline{h}) + (\underline{h} - d') + (d' - f')$. Это относительно мягкій диссонансъ, болѣе мягкій чѣмъ уменьшенная септима, что имѣетъ важность для дѣйствія доминант-септаккорда, въ который входитъ эта септима. Изъ всѣхъ септимъ, тѣсная малая септима ближе всего подходитъ къ натуральной септимѣ $\frac{7}{4}$, однако не такъ близко какъ интервалъ увеличенной сексты, о которой мы будемъ говорить ниже. Я уже объяснилъ прежде, что натуральная септима присоединяется по благозвучію къ консонансамъ. Обращеніе этой септимы есть большой цѣлый тонъ (grosse Ganzton) $c - d$, $\underline{a} - \underline{h}$, $f - g$, $\frac{9}{8}$, составляющій сильный диссонансъ.

10) Широкая малая септима $\underline{e} - d'$, $\underline{a} - g'$, $\frac{9}{5}$ на комму больше предъидущей, звучитъ замѣтно рѣзче, такъ какъ она болѣе приближается къ октавѣ; по грубости она почти равна уменьшенной септимѣ. Она состоитъ изъ одной большой и двухъ малыхъ натуральныхъ терцій; $\underline{e} - d' = (\underline{e} - g) + (g - \underline{h}) + \underline{h} - d')$. Упомянутая передъ этимъ тѣсная малая септима должна имѣть свой основной тонъ на сторонѣ верхней доминанты, а свою септиму на сторонѣ нижней доминанты *тона*, такъ какъ она въ своихъ предѣлахъ заключаетъ пиѳагорову терцію $d - f$. Наоборотъ, широкая малая септима имѣетъ свою септиму на сторонѣ верхней доминанты. Ея обращеніе, малый цѣлый тонъ (kleine Ganzton) $\frac{10}{9}$, $d - \underline{e}$, $g - \underline{a}$, въ звуковомъ сочетаніи рѣзче, чѣмъ большой цѣлый тонъ.

11) Большая септима $f - \underline{e}'$, $c - \underline{h}$, $\frac{15}{8}$, состоитъ изъ натуральныхъ двухъ большихъ и одной малой терціи; $c - \underline{h} = (c - \underline{e}) + (\underline{e} - g) + (g - \underline{h})$. Она рѣзкій диссонансъ, почти такой же рѣзкости, какъ и малый цѣлый тонъ. Ея обращеніе, малая секунда или полутонъ $\frac{16}{15}$, изъ всѣхъ диссонансовъ гаммы самый рѣзкій.

Немного уклоняющаяся большая септима $\overline{b} - \underline{a}'$, меньшая обыкновенной большой септимы на комму, могла бы произойдти въ квартовомъ и септимовомъ ладѣ и поэтому была бы по звуку немного мягче.

Наконецъ слѣдуетъ еще упомянуть объ особенномъ интервалѣ дорійскаго секстоваго лада; это именно

12) Увеличенная секста $\overline{des} - \underline{h}$, которая образуется отъ сочетанія, свойственной этому ладу малой секунды $\overline{des}$ съ вводнымъ тономъ $\underline{h}$. Величина этого интервала $\frac{225}{128}$, онъ приблизительно, какъ это видно, на комму меньше малой септимы доминантсептаккорда, если положить $\overline{des} - \underline{h} = \overline{des} - ces'$; тѣсною малою септимою была бы $des - ces'$; но $\overline{des}$ на комму выше *des*. Увеличенную сексту можно

себѣ представить сложенною изъ двухъ большихъ терцій и цѣлаго тона:

$$(\overline{des} - f) + (f - g) + (g - \underline{h}).$$

Ея благозвучіе тожественно съ благозвучіемъ малой сексты, потому что она почти совершенно отвѣчаетъ натуральному интервалу именно $\frac{7}{4}$. Дѣло въ томъ что $\frac{225}{128} = \frac{7}{4} \cdot \frac{225}{224}$. Слѣдовательно, взятая отдѣльно, она не можетъ быть разсматриваема какъ диссонансъ, но она не допускаетъ никакихъ другихъ консонирующихъ соединеній и слѣдовательно не можетъ составить консонирующихъ аккордовъ. Если она будетъ обращена въ *уменьшенную терцію* $\frac{256}{225}$, или приблизительно $\frac{8}{7}$, то она, какъ уже было замѣчено прежде, дѣлается значительно хуже; напротивъ, если болѣе высокій тонъ $\underline{h}$ будетъ переложенъ на октаву выше, гдѣ она приблизительно представляетъ интервалъ $\frac{7}{2}$, то она улучшается. Близкое согласованіе съ натуральною септимою и относительное благозвучіе повидимому составляетъ то, что удержало въ кадансахъ этотъ странный и противорѣчащій нашей настоящей системѣ тоновъ интервалъ, при чемъ характеристично еще и то, что его обращеніе въ уменьшенную терцію, которое уменьшаетъ благозвучіе запрещено, а дозволено расширеніе въ соотвѣтствующую терцдециму. На клавишныхъ инструментахъ интервалъ этотъ совпадаетъ съ малою септимою.

Вообще одинъ взглядъ на фиг. 61 покажетъ какъ различные интервалы чрезвычайно смѣшиваются на клавишныхъ инструментахъ. Подъ основною линіею $X - Y$ обозначены мѣста тоновъ равномѣрной температіи, а маленькія скобки вдоль линіи XY обнимаютъ тѣ ступени, которыя обыкновенно выражаются посредствомъ соотвѣтствующаго тона температіонной скалы. На фортепіано интервалъ $\underline{h} - \overline{as}$ берется точно также, какъ большая секста $ces - as$; напротивъ интервалъ $\overline{des} - \underline{h}$, берется шире на полутонъ и все таки послѣдній едва ли болѣе различенъ отъ перваго чѣмъ первый отъ большой сексты. Фигура въ особенности весьма хорошо показываетъ, какое большое различіе должно существовать по благозвучію между интервалами $c - \underline{a}$ и $f - d'$ или $\underline{h} - \overline{as}'$, тогда какъ всѣ они выражаются довольно рѣзкимъ звукомъ температіоннаго интервала $c - a$. Напротивъ, гармоніонъ съ двойнымъ рядомъ тоновъ допускаетъ брать всѣ эти интервалы вѣрно.

Диссонирующія трезвучія.

Мы получаемъ диссонирующія трезвучія съ однимъ диссонансомъ въ томъ случаѣ, когда присоединяемъ къ тому же основному тону

два консонанса, но которые однако между собою диссонируютъ. Слѣдовательно

1) Квинту и кварту: $c - f - g$.

2) Терцію и кварту: $c - \underline{e} - f$ или $c - \overline{es} - f$.

3) Квинту и сексту: $c - g - \underline{a}$ или $c - g - \overline{as}$.

4) Разнородныя терцію и сексту: $c - \overline{es} - \underline{a}$ или $c - \underline{e} - \overline{as}$

Во всѣхъ этихъ случаяхъ c консонируетъ съ обоими другими тонами. Только первый аккордъ играетъ важную роль, именно въ древней полифонической музыкѣ, какъ *аккордъ задержанія* (Vorhaltsaccord). Остальные мы найдемъ впослѣдствіи какъ части септаккорда.

Въ новѣйшей музыкѣ имѣютъ больше значенія *трезвучія съ двумя диссонансами*, обнимающія предѣльные звуки *тона*.

Въ системѣ аккордовъ *тона* большія и малыя терціи попремѣнно слѣдуютъ другъ за другомъ; при этомъ двѣ сосѣднія, соединенныя вмѣстѣ, даютъ консонирующія трезвучія. Но между предѣльными тонами d и f, интервалъ обнимаетъ малую пиѳагорову терцію и если она съ ближайшею слѣдующею терціею соединяется въ трезвучіе, то онъ становится диссонирующимъ:

$$\text{Dur: } c - \underline{e} - g - \underline{h} - d \mid f - \underline{a} - c - \underline{e} - g$$

$$\frac{5}{4} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{32}{27} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{6}{5}$$

$$\text{Moll: } c - \overline{es} - g - \underline{h} - d \mid f - \overline{as} - c - \overline{es} - g$$

$$\frac{6}{5} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{32}{27} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{5}{4}.$$

Мажорная система тоновъ даетъ два такого рода трезвучія:

$$\underline{h} - d - f \text{ и } d - f - \underline{a}$$

$$\frac{6}{5} \quad \frac{32}{27} \qquad \frac{32}{27} \quad \frac{5}{4}.$$

Минорная система:

$$\underline{h} - d - f \text{ и } d - f - \overline{as}$$

$$\frac{6}{5} \quad \frac{32}{27} \qquad \frac{32}{27} \quad \frac{6}{5}.$$

Въ обоихъ аккордахъ $\underline{h} - d - f$ и $d - f - \overline{as}$, которые соединяютъ пиѳагорову терцію съ малою терціею, воспроизводятся еще также, какъ вторые диссонансы, фальшивыя квинты $\underline{h} - f$ и $d - \overline{as}$, которыя дѣлаютъ аккордъ еще болѣе диссонирующимъ, чѣмъ бы это сдѣлала терція $\frac{32}{27}$; эти аккорды называются *уменьшенными трезвучіями*. Аккордъ $d - f - \underline{a}$ будучи, какъ это справедливо доказалъ *Гауптманнъ*, диссонирующимъ, выглядитъ въ нотномъ письмѣ какъ минорный аккордъ $\underline{d} - f - \underline{a}$ и потому можетъ называться также *фальшивымъ минорнымъ трезвучіемъ*; будучи

воспроизведенъ на вѣрно настроенномъ инструментѣ, онъ звучитъ совершенно фальшиво. Онъ едва ли менѣе грубъ, аккорда $\underline{h} - d - f$. Если не смѣшивая d съ $\underline{d}$ сдѣлать въ C-Dur 1 или 2 кадансъ:

то аккорды $\underline{a} - d' - f'$ и $f - \underline{a} - d' - f'$ войдутъ совершенно такими же диссонирующими какъ и слѣдующіе $\underline{h} - d' - f'$ и $g - \underline{h} - d' - f$. Въ неточной настройкѣ нашихъ музыкальныхъ инструментовъ, можно достигнуть того же самаго дѣйствія только тѣмъ, что обращенный септаккордъ $f - \underline{a} - c - d$, соединять въ кадансѣ съ субдоминантою. Гауптманнъ сомнѣвается въ томъ, чтобы фальшивое минорное трезвучіе C-Dur, могло бы быть различаемо въ примѣненіи отъ аккорда D-Moll. Я нахожу, что на моемъ вѣрно настроенномъ гармоніонѣ это различіе происходитъ вполнѣ рѣшительно и несомнѣнно, но допускаю, что отъ пѣвцовъ было бы странно ожидать вѣрной интонаціи. Они невольно перейдутъ въ вѣрный минорный аккордъ, если въ веденіи голоса, который даетъ D не будетъ сильно выдѣлено сродство съ доминантою G.

Эти аккорды, а именно всего рѣшительнѣе и явственнѣе аккордъ $\underline{h} - d - f$, имѣютъ еще для музыки то особое значеніе, что они заключаютъ предѣльные тоны строя, которыми этотъ послѣдній отдѣленъ отъ ближайшихъ сродныхъ и такимъ образомъ весьма опредѣленно обозначаютъ тотъ *тонъ*, въ которомъ въ данное время движется гармонія. Если бы онъ перешелъ въ G-Dur или G-Moll, то вмѣсто f долженъ бы войдти $\underline{fis}$. Если бы онъ перешелъ въ F-Dur, то вмѣсто d вошелъ бы $\underline{d}$, если же въ F-Moll, то $\overline{des}$. Кромѣ того въ аккордѣ, заключающемъ въ себѣ $\underline{h}$, появилось бы b. Слѣдовательно

въ G-Dur:	$\underline{h} - d - \underline{fis}$	$d - \underline{fis} - a$
въ C-Dur:	$\underline{h} - d - f$	$d - f - \underline{a}$
въ F-Dur:	$b - \underline{d} - f$	$\underline{d} - f - \underline{a}$
въ G-Moll:	$\overline{b} - d - \underline{fis}$	$d - \underline{fis} - a$
въ C-Moll:	$\underline{h} - d - \overline{f}$	$d - f - \overline{as}$
въ F-Moll:	$b - \overline{des} - f$	$\overline{des} - f - \overline{as}$.

Теперь видно, что эти аккорды явственно различаемы въ ближайшихъ сродныхъ *тонахъ*, за исключеніемъ $d - f - \underline{a}$ и $\underline{d} - f - \underline{a}$, различеніе которыхъ встрѣтило бы практическія затрудненія. Напротивъ

$$\underbrace{\underline{h} - d}_{\frac{6}{5}}\underbrace{- f}_{\frac{32}{27}} \text{ и } \underbrace{d - f}_{\frac{32}{27}}\underbrace{- \overline{as}}_{\frac{6}{5}}$$

были бы легко смѣшаны съ

$$\underbrace{\underline{h} - \underline{d}}_{\frac{32}{27}}\underbrace{- f}_{\frac{6}{5}} \text{ и } \underbrace{\underline{d} - f}_{\frac{6}{5}}\underbrace{- \overline{as}}_{\frac{32}{27}}$$

изъ коихъ первый принадлежитъ къ $\underline{a}$-Moll и послѣдній къ $\overline{es}$-Dur или къ $\overline{es}$-Moll. $\underline{a}$-Moll ближайшій сродный минорный *тонъ* c-Dur; $\overline{e}$-Dur ближайшій сродный мажорный *тонъ* c-Moll.

Наконецъ, если принять во вниманіе, что малая пиѳагорова терція $\frac{32}{27}$ еще менѣе отличается отъ увеличенной секунды $\frac{75}{64}$ чѣмъ отъ нормальной малой терціи ($\frac{32}{27} = \frac{6}{5} \cdot \frac{80}{81}$ или $\frac{32}{27} = \frac{75}{64} \cdot \frac{2048}{2025}$, или приблизительно $\frac{32}{27} = \frac{75}{64} \cdot \frac{89}{88}$), то трезвучіе $\underline{h} - d - f$ можетъ перейдти посредствомъ относительно малыхъ измѣненій интонаціи въ

$$\underbrace{\underline{h} - d}_{\frac{6}{5}}\underbrace{- \underline{eis}}_{\frac{75}{64}} \text{ и } \underbrace{\overline{ces} - \underline{d}}_{\frac{75}{64}}\underbrace{- f}_{\frac{6}{5}}$$

которыя принадлежатъ къ $\underline{fis}$-Moll и $\overline{es}$-Moll. Слѣдовательно уменшенное трезвучіе $\underline{h} - d - f$, при измѣненіи его интонаціи только на $\frac{81}{80}$, можетъ быть отнесено къ *тонамъ*

C-Dur, C-Moll, $\underline{A}$-Moll, $\underline{Fis}$-Moll и Es-Moll.

Если при употребленіи трезвучія $\underline{h} - d - f$ исключены также ближайшіе сродные *тоны* C, то все таки можетъ еще произойдти смѣшеніе съ болѣе отдаленными *тонами* и если мы желаемъ достигнуть цѣли, т. е. точнаго обозначенія *тона* посредствомъ этихъ трезвучій, то должны прибавить еще четвертый тонъ, слѣдовательно сдѣлать аккордъ четырехголоснымъ, вслѣдствіе чего мы и получаемъ септаккорды.

Септаккорды.

а. Составленные изъ двухъ консонирующихъ трезвучій.

Консонирующіе четырехголосные аккорды, какъ это было показано прежде, не могутъ быть построены безъ удвоенія одного изъ тоновъ въ октаву, но диссонирующіе аккорды могутъ быть построены четырехголосными и безъ этого условія. Наименѣе диссонирующій родъ этихъ аккордовъ тотъ, гдѣ диссонируетъ только одинъ интервалъ, а всѣ остальные консонируютъ. Ихъ составляютъ самымъ простымъ образомъ, если сложить два консонирующихъ трезвучія, содержащихъ два общихъ тона. При сложеніи этихъ трезвучій тоны имъ не общіе диссонируютъ, а все остальное созвучно; поэтому среди

большинства остальныхъ консонирующихъ тоновъ диссонансъ становится относительно мало замѣтнымъ. Слѣдовательно аккорды

$$c - \underline{e} - g$$
$$\underline{e} - g - \underline{h}$$

сложенные вмѣстѣ даютъ четырехголосный аккордъ

$$c - \underline{e} - g - \underline{h},$$

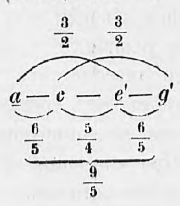
въ которомъ только одна большая септима интервалъ диссонирующій, а всѣ остальные, какъ показываетъ слѣдующая табличка, консонирующіе:

$$\overbrace{c - \underline{e}}^{} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{3}{2}$$
$$c - \underline{e} - g - \underline{h}$$
$$\frac{5}{4} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{5}{4}$$
$$\frac{15}{8}.$$

Это расположеніе септаккорда, выведенное изъ тѣснѣйшаго расположенія трезвучій, разсматривается, какъ его основное положеніе Интервалы являются между отдѣльными тонами терціями и если мы составляемъ септаккорды изъ консонирующихъ трезвучій гаммы, то терціи должны быть поперемѣнно большими и малыми, потому что въ консонирующихъ трезвучіяхъ большую терцію соединяютъ постоянно съ малою. Гауптманнъ называетъ эти септаккорды, которые являются на готово составленными въ натуральномъ слѣдованіи терцій *тона*

$$f - \underline{a} - c - \underline{e} - g - \underline{h} - d$$

аккордами прямой системы (Accorde des unverwendeten Systems). Поэтому различіе въ этихъ аккордахъ происходитъ только оттого, что или малая терція находится въ серединѣ, а двѣ большія по бокамъ, какъ въ только что упомянутомъ септаккордѣ $c - \underline{e} - g - \underline{h}$ и ему подобныхъ $f - \underline{a} - c' - \underline{e}'$ изъ гаммы *C*-Dur и $\overline{as} - c - \overline{es} - g$ изъ гаммы *C*-Moll, или оттого, что большая терція находится въ серединѣ, а двѣ малыя по бокамъ, какъ въ



и въ подобныхъ ему $\underline{e} - g - \underline{h} - d$ изъ гаммы *C*-Dur и $f - \overline{as} - c - \overline{es}$ изъ гаммы *C*-Moll. Эти послѣдніе имѣютъ диссонансомъ малую септиму, которая гораздо мягче диссонанса большой септимы.

b. Септаккорды, составленные изъ диссонирующихъ трезвучій.

Можно составить болѣе широкіе септаккорды изъ диссонирующихъ предѣльныхъ трезвучій *тона*, сложенныхъ съ однимъ изъ консонирующихъ трезвучій и даже изъ обоихъ диссонирующихъ. Соединенные такимъ образомъ предѣлы цѣпи аккордовъ *тона*

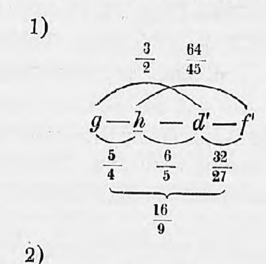
$$c - \underline{e} - g - \underline{h} - d \mid f - \underline{a} - c$$

и

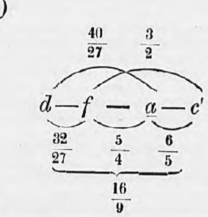
$$c - \overline{es} - g - \underline{h} - d \mid f - \overline{as} - c$$

намъ даютъ слѣдующій рядъ **септаккордовъ непрямой системы** (Septimenaccorde des verwendeten Systems):

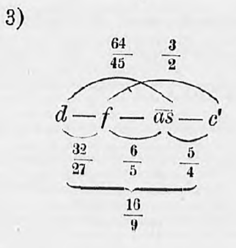
1)



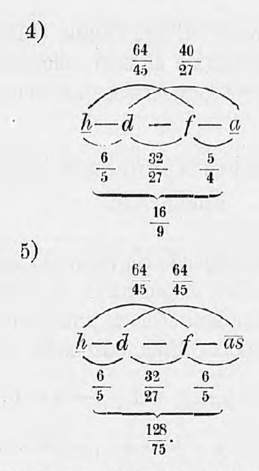
2)



3)



4)



Септимы этихъ аккордовъ, которыя всѣ довольно близко подходятъ къ натуральной септимѣ $\frac{7}{4}$, всѣ меньше септимъ септаккордовъ, сложенныхъ изъ консонирующихъ аккордовъ. Главные диссонансы этихъ аккордовъ суть фальшивыя и невѣрныя квинты $\underline{h} - f$, $d - \underline{a}$ и $d - \overline{as}$, т. е. интервалы $\frac{64}{45}$ и $\frac{40}{27}$. Первые три септаккорда $g - \underline{h} - d - f$, $d - f - \underline{a} - c$ и $d - f - \overline{as} - c$, которые заключаютъ только одну изъ этихъ невѣрныхъ квинтъ, диссонируютъ поэтому мягче чѣмъ оба послѣдніе съ двумя невѣрными квинтами. Между этими аккордами, тѣ которые содержатъ мажорный аккордъ, именно

$$\underbrace{g - \underline{h} - d} - f \text{ и } d - \underbrace{f - \underline{a} - c}$$

по рѣзкости диссонанса тожественны приблизительно болѣе нѣжнымъ септаккордамъ прямой системы, которые хотя и содержатъ бо́льшую и грубѣйшую малую септиму, но за то рядомъ съ нею и вѣрныя квинты

$$\underbrace{a - c - \underline{e}} - g \text{ и } \underbrace{e - g - \underline{h}} - d.$$

Доминант-септаккордъ $g - \underline{h} - d' - f'$ можетъ быть даже сдѣланъ гораздо мягче, если f понизить до $\underline{f}$. Интервалъ $g - f'$ отвѣчаетъ отношенію $\frac{1280}{729}$, которое почти равно $\frac{7}{4}$. Дѣло въ томъ что $\frac{1280}{729}$ равно приблизительно $\frac{7}{4} \cdot \frac{301}{300}$. Аккордъ $g - \underline{h} - d - \underline{f}$ стоитъ на границѣ консонирующихъ аккордовъ.

Напротивъ септаккордъ, который содержитъ фальшивую квинту и минорный аккордъ

$$d - \underbrace{f - \overline{as} - c},$$

присоединяется по грубости къ аккордамъ прямой системы съ большою септимою

$$f - \underline{a} - c - \underline{e} \text{ и } c - \underline{e} - g - \underline{h}.$$

При этомъ поразительно то, что этотъ послѣдній аккордъ имѣетъ совершенно тѣже интервалы, только въ обратномъ расположеніи, аккорду $g - \underline{h} - d - f$, такъ какъ

$$\underset{\frac{32}{27}\ \ \frac{6}{5}\ \ \frac{5}{4}}{d - f - \overline{as} - c'} \qquad \underset{\frac{5}{4}\ \ \frac{6}{5}\ \ \frac{32}{27}}{g - \underline{h} - d' - f'}.$$

Вслѣдствіе того, что консонирующая часть перваго аккорда, минорный аккордъ, а во второмъ напротивъ мажорный, то первый выходитъ рѣшительно грубѣе послѣдняго.

Основаніе и здѣсь опять таки слѣдуетъ искать въ комбинаціонныхъ тонахъ, изъ коихъ самые явственные, лежащіе внизу тѣсныхъ интерваловъ. Они суть для

$$\underbrace{g'}_{G} - \underbrace{\underline{h}'}_{G} - \underbrace{d''}_{\underline{A}} - f''$$

и для

$$\underbrace{d''}_{\underline{A}} - \underbrace{f''}_{\overline{des}} - \overline{as}'' - c''' \quad as.$$

Первый аккордъ содержитъ только одинъ чуждый ему комбинаціонный тонъ, второй — два.

Грубѣйшіе септаккорды съ двумя фальшивыми квинтами суть $\underline{h} - d - f' - \underline{a}'$ и $h - d' - f' - \overline{as}'$; но первый можетъ быть сдѣланъ довольно нѣжнымъ посредствомъ незначительнаго измѣненія его настройки. Если именно воспроизвести аккордъ $\underline{h} - d - \underline{f}' - a'$, то онъ будетъ содержать всѣ тоны звука G, которые звучатъ другъ съ другомъ довольно хорошо.

Аккорды непрямой системы играютъ важную роль въ модуляціонныхъ движеніяхъ для точнаго и продолжительнаго обозначенія *тона*. Въ этомъ отношеніи рѣшительнѣе всего дѣйствуетъ септаккордъ на доминантѣ *тона*, слѣдовательно при тоникѣ C, аккордъ $g - \underline{h} - d - f$. Мы видѣли что посредствомъ малыхъ измѣненій интонаціи уменьшенное трезвучіе $\underline{h} - d - f$ можетъ быть приложено къ *тонамъ*

C-Dur, *C*-Moll, *A̲*-Moll, *F̲i̲s̲*-Moll и *E̲s̲*-Moll.

Но изъ нихъ только два первые еще содержатъ тонъ G, такъ что къ тоникѣ C принадлежитъ только аккордъ $g - \underline{h} - d - f$.

Невѣрное минорное трезвучіе $d - f - \underline{a}$, которое при точной интонаціи принадлежитъ только гаммѣ *C*-Dur, допускаетъ смѣшеніе съ

$\underline{d} - f - \underline{a}$, которое можетъ быть отнесено къ *A*-Moll, *F*-Dur и *B*-Dur. Эти смѣшенія не предотвращаются прибавкою тона *C*, потому что септаккордъ $d - f - \underline{a} - c$ употребляется обыкновенно въ кадансѣ только попеременно съ доминант-септаккордомъ, при чемъ имъ тогда различается *C*-Dur отъ *C*-Moll. Но прибавленіе тона $\underline{h}$ къ трезвучію $d - f - \underline{a}$ характеристично, такъ какъ оно развѣ допускаетъ еще смѣшеніе съ аккордомъ $\underline{h} - \underline{d} - f - \underline{a}$, который относится къ *A*-Moll. Аккордъ $\underline{h} - d - f - \underline{a}$, примѣненный между мажорными аккордами, звучитъ однако относительно грубо, именно въ каждомъ обращеніи въ которомъ *a* не остается высшимъ тономъ, поэтому то онъ и имѣетъ ограниченное примѣненіе. Онъ слагается часто съ доминант-септаккордомъ, въ видѣ нонаккорда $g - \underline{h} - d' - f' - \underline{a}'$, гдѣ однако *g* и *a'*, должны оставаться его крайними тонами. Объ этомъ будетъ говориться болѣе ниже.

Въ *тонѣ* *C*-Moll, трезвучіе $d - f - \overline{as}$, которое въ своей вѣрной интонаціи было бы характеристично само по себѣ, можетъ быть также легко смѣшиваемо съ другими. Такъ

$d - f - \overline{as}$ ($\frac{32}{27}$, $\frac{6}{5}$)	принадлежитъ къ	*C*-Moll
$\underline{d} - f - as$ ($\frac{6}{5}$, $\frac{32}{27}$)	» »	*Es*-Dur и *Es*-Moll.
$d - \overline{f} - gis$ ($\frac{6}{5}$, $\frac{75}{64}$)	» »	*A*-Moll
$d - \underline{eis} - gis$ ($\frac{75}{64}$, $\frac{6}{5}$)	» »	*Fis*-Moll.

Прибавленіе тона *C* въ септаккордѣ $d - f - \overline{as} - c$, исключило бы рѣшительно только *тонъ* *Fis*-Moll, а прибавленіе тона $\underline{h}$, который можно было бы только смѣшивать съ *h* или *ces*, составило бы аккордъ, который могъ бы подходить ко всѣмъ вышеприведеннымъ *тонамъ*. Этотъ послѣдній аккордъ, такъ называемый уменьшенный септаккордъ, является на клавишныхъ инструментахъ какъ цѣпь малыхъ терцій. Но въ сущности между каждыми двумя малыми терціями находится пиѳагорова малая терція, или увеличенная секунда:

$$\underbrace{\underline{h} - d}_{\frac{6}{5}} - \underbrace{f}_{\frac{32}{27}} - \underbrace{\overline{as}}_{\frac{6}{5}} - \underbrace{h}_{\frac{75}{64}} - \underbrace{d}_{\frac{6}{5}} - \underbrace{f}_{\frac{32}{27}} - \underbrace{\overline{as}}_{\frac{6}{5}} - \underbrace{\underline{h}}_{\frac{75}{64}}.$$

Такъ какъ три интервала $\frac{6}{5}$, $\frac{32}{27}$ и $\frac{75}{64}$, различаются между собою только весьма немного, то ихъ легко можно замѣнить другъ другомъ

и мы получимъ слѣдующіе ряды тоновъ, которые приблизительно одинаковы:

$$\underline{h} - d - f - \overline{as} - \underline{h} \text{ въ } C\text{-Moll} \quad (\tfrac{6}{5},\ \tfrac{32}{27},\ \tfrac{6}{5},\ \tfrac{75}{74})$$

$$h - d - \overline{f} - \underline{gis} - h \text{ въ } A\text{-Moll} \quad (\tfrac{32}{27},\ \tfrac{6}{5},\ \tfrac{75}{64},\ \tfrac{6}{5})$$

$$h - \underline{d} - \underline{eis} - gis - h \text{ въ } Fis\text{-Moll} \quad (\tfrac{6}{4},\ \tfrac{75}{64},\ \tfrac{6}{5},\ \tfrac{32}{27})$$

$$\overline{ces} - \underline{d} - f - as - \overline{ces} \text{ въ } Es\text{-Moll} \quad (\tfrac{75}{64},\ \tfrac{6}{5},\ \tfrac{32}{27},\ \tfrac{6}{5}).$$

Эти уменьшенные септаккорды хотя и даютъ весьма рѣзкій диссонансъ при вѣрной настройкѣ но не такъ рѣзко отдѣляются отъ консонирующихъ аккордовъ въ минорномъ *тонѣ*, какъ въ мажорномъ. Если они сопровождаются тоническимъ трезвучіемъ, то оба аккорда вмѣстѣ заключаютъ всѣ тоны строя (Tonart) и поэтому опредѣлятъ его весьма совершенно. Впрочемъ уменьшенный септаккордъ вслѣдствіе своей измѣнчивости примѣняется главнымъ образомъ для быстраго перехода въ новый отдаленный *тонъ*. Простымъ прибавленіемъ минорнаго трезвучія *Fis*, *A*-, *C*- или *Es*-Moll, этотъ новый *тонъ* будетъ вполнѣ опредѣленъ. Легко замѣтить, что рядъ этихъ *тоновъ* составляетъ самъ уменьшенный септаккордъ, коего тоны лежатъ на полутонъ выше тоновъ воспроизведеннаго аккорда. Этимъ легко замѣчаются *тоны*, къ которымъ онъ принадлежитъ.

Замыканіе *тона* посредствомъ этихъ аккордовъ особенно важно въ кадансѣ при заключеніи сочиненія или его главнаго періода. Кромѣ того мы должны еще теперь опредѣлить, какіе основные звуки могутъ быть выражены септаккордами.

Въ этомъ отношеніи слѣдуетъ однако замѣтить, что всѣ тоны диссонирующаго аккорда никогда, или по крайней мѣрѣ только несовершенно могутъ представлять одинъ и тотъ же звукъ; нѣкоторые же изъ нихъ можно принять за составныя части звука. Отсюда происходитъ практическое важное различіе между различными тонами таковаго аккорда. Тѣ именно тоны, которые могутъ быть разсматриваемы, какъ составныя части звука, составляютъ между собою сомкнутую и сплоченную звуковую массу. Напротивъ одинъ или два другихъ тона аккорда, которые не принадлежатъ къ этой звуковой массѣ, являются какъ раздробленные и слѣдующіе случайно рядомъ тоны. Послѣдніе называются музыкантами диссонансами или диссонирующими нотами аккорда. Естественно, что въ диссонирующемъ интервалѣ,

одинъ изъ тоновъ на столько же самъ по себѣ диссонируетъ къ другимъ, на сколько второй съ первымъ и если бы къ нимъ не прибавлялось другихъ, то не было бы смысла считать диссонирующею нотою только одинъ изъ нихъ. Напр: въ септимѣ $c - \underline{h}$, c диссонируетъ относительно $\underline{h}$ и $\underline{h}$ относительно c, при чемъ каждый изъ нихъ диссонируетъ только относительно другаго. Напротивъ въ аккордѣ $c - \underline{e} - g - \underline{h}$, $c - \underline{e} - g$ составляетъ единичную звуковую массу, отвѣчающую звуку C, а $\underline{h}$ отдѣльный возлѣ идущій тонъ. Поэтому три тона $c - \underline{e} - g$ выступаютъ самостоятельно, взаимно подкрѣпляя и поддерживая другъ друга. Напротивъ отдѣльная септима $\underline{h}$ должна держаться безъ поддержки противъ превосходства силы другихъ тоновъ, что можетъ быть достигнуто какъ пѣвцомъ такъ и слушателемъ только тогда, когда ея мелодичный ходъ выдержанъ весьма просто и удобопонятно. Поэтому для одной этой ноты слѣдуетъ соблюдать особыя правила голосоведенія, тогда какъ введеніе c, оправдываемое самимъ аккордомъ, происходитъ совершенно свободно и безпрепятственно. Это практичеслое различіе въ законахъ голосоведенія выражается музыкантами тѣмъ, что они въ этомъ случаѣ обозначаютъ одинъ только $\underline{h}$, какъ диссонирующій тонъ аккорда. Если это обозначеніе и не совершенно выбрано кстати, то мы все таки можемъ его незадумываясь употреблять далѣе, такъ какъ мы здѣсь уже выяснили, каковъ его истинный смыслъ.

Теперь мы приходимъ къ опредѣленію звука отдѣльныхъ нами найденныхъ септаккордовъ, который они замѣняютъ, а также и ихъ диссонирующихъ тоновъ.

1. Доминат-септаккордъ $g - \underline{h} - d - f$ содержитъ три тона, которые принадлежатъ къ звуку G, именно g, $\underline{h}$ и d, тогда какъ септима f тонъ диссонирующій. Однако слѣдуетъ замѣтить, что эта малая септима $g - f$ такъ близко подходитъ къ отношенію 4 : 7, которое было бы почти вѣрно выражено интерваломъ $g - \underline{f}$, что тонъ f можно во всякомъ случаѣ принять за седьмой частный тонъ звука G. Этотъ звукъ было бы точнѣе представить чрезъ $g - \underline{h} - d - \underline{f}$. Пѣвцы вѣроятно легко измѣняютъ f септаккорда въ $\underline{f}$, частью оттого, что по правилу f нисходитъ въ $\underline{e}$, частью же оттого, что посредствомъ этого измѣненія, они достигаютъ нѣжнѣе звучащаго аккорда. Это можетъ въ особенности легко случиться, если въ предъидущемъ аккордѣ, звукъ f не опредѣленъ посредствомъ близкаго сродства. Слѣдовательно если напр. къ имѣющемуся уже консонирующему аккорду $g - \underline{h} - d$ должно впослѣдствіи еще присоединиться f, то это f легко обратится въ $\underline{f}$, такъ какъ f не сроденъ близко ни съ однимъ изъ тоновъ g, $\underline{h}$ или d. Слѣдовательно, не смотря на то, что доминант-септаккордъ диссонирующій, его диссониру-

ющій тонъ лежитъ самъ такъ близко къ соотвѣтствующему частному тону въ звукѣ доминанты, что весь аккордъ можетъ быть весьма удобно разсматриваемъ, какъ замѣститель звука доминанты. Поэтому то именно септима этого аккорда и освобождена отъ многихъ ограниченій голосоведенія, которымъ обыкновенно подвергаются другія диссонирующія септимы. Именно допускаютъ, что она можетъ входить свободно и внезапно, что въ другихъ случаяхъ запрещено.

Поэтому доминант-септаккордъ, вслѣдъ за тоническимъ, играетъ въ новѣйшей музыкѣ важнѣйшую роль. Онъ точно обозначаетъ *тонъ*, точнѣе чѣмъ простое трезвучіе доминанты $g - \underline{h} - d$ и точнѣе уменьшеннаго трезвучія $\underline{h} - d - f$. Какъ диссонирующій аккордъ онъ стремится къ разрѣшенію въ тоническій аккордъ, чего съ простымъ трезвучіемъ доминанты не бываетъ. Къ этому наконецъ присоединяется еще и то, что его благозвучіе нарушено чрезвычайно мало, такъ что изъ всѣхъ диссонирующихъ аккордовъ онъ самый нѣжный. Поэтому то въ новѣйшей музыкѣ мы едва ли еще въ состояніи безъ него обходиться. Онъ повидимому изобрѣтенъ въ началѣ XVII столѣтія Монтеверде.

2. Септаккордъ, построенный на секундѣ мажорнаго *тона*, $d - f - \underline{a} - c$, содержитъ три тона, которые принадлежатъ звуку F, именно f, $\underline{a}$ и c. При вѣрной интонаціи D диссонируетъ со всѣми тремя тонами аккорда и долженъ быть разсматриваемъ какъ его диссонирующая нота. Слѣдовательно основное расположеніе этого аккорда то, которое уже принималъ Рамо и въ которомъ F является какъ основной тонъ, т. е. $f - \underline{a} - c - d$, слѣдовательно квинтово-секстовое расположеніе (Quintsextenlage), или какъ его назвалъ Рамо, — аккордъ большой сексты. Въ этомъ расположеніи аккордъ встрѣчается и въ кадансѣ *тона* C-Dur. Его значеніе и отношеніе къ *тону* опять таки явственнѣе, чѣмъ упомянутаго прежде фальшиваго минорнаго аккорда $d - f - \underline{a}$, который въ исполненіи его пѣвцами и въ воспринятіи слушателя подвергнутъ измѣненію въ $\underline{d} - f - \underline{a}$ *тона* $\underline{A}$-Moll. Если мы измѣнимъ $d - f - \underline{a}$ въ $\underline{d} - f - \underline{a}$, то достигнемъ консонирующаго аккорда; стремленіе къ этому будетъ очень велико, если въ мелодичномъ ходѣ сродство d къ G не выдѣлено очень сильно. Но если въ аккордѣ $d - f - \underline{a} - c$ мы бы также пожелали измѣнить d въ $\underline{d}$, то хотя бы мы этимъ и сдѣлали его консонирующимъ къ f и $\underline{a}$, но не сдѣлали бы его консонирующимъ къ c; напротивъ диссонансъ $\underline{d} - c$ рѣзче чѣмъ $d - c$ и въ звукъ $\underline{d}$ входилъ бы постоянно только тонъ $\underline{a}$, такъ что не смотря на это измѣненіе, f, который соединяетъ въ своемъ звукѣ три тона аккорда, удержалъ бы какъ основной тонъ преимущество передъ $\underline{d}$, который ихъ соединяетъ только два. Сообразно этому, я

нахожу, что на натурально настроенномъ гармоніонѣ, аккордъ $f - \underline{a} - c - d$, какъ субдоминант-аккордъ *C*-Dur, производитъ лучшее дѣйствіе, чѣмъ аккордъ $f - \underline{a} - c - \underline{d}$.

3. Соотвѣтствующій септаккордъ на секундѣ минорнаго *тона* $\underline{d} - f - \overline{as} - c$ содержитъ только тонъ c, который можетъ быть разсматриваемъ какъ составная часть звука f или звука $\overline{as}$. Но такъ какъ c третій частный тонъ f и только пятый $\overline{as}$, то f имѣетъ и здѣсь по правилу какъ основной тонъ перевѣсъ и аккордъ долженъ быть разсматриваемъ какъ субдоминант-аккордъ $f - \overline{as} - c$ съ прибавкою диссонирующаго тона d. Здѣсь имѣется еще меньше повода къ измѣненію d въ $\underline{d}$, чѣмъ въ соотвѣтствующемъ мажорномъ аккордѣ.

4. Септаккордъ на септимѣ мажорнаго *тона*, $\underline{h} - d - f - \underline{a}$ содержитъ два тона $\underline{h}$ и d, которые принадлежатъ звуку доминанты *G*, и два тона, именно $f - \underline{a}$, которые содержатся въ звукѣ *F*. Слѣдовательно аккордъ распадается на двѣ половины одинаковаго значенія. Однако слѣдуетъ замѣтить, что оба тона, f и $\underline{a}$, чрезвычайно близко подходятъ къ ближайшимъ частнымъ тонамъ звука *G*. Тоны звука *G*, начиная съ четвертаго, могутъ быть именно написаны слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{matrix} g & - & \underline{h} & - & d & - & \underline{f} & - & g & - & a \\ 4 & & 5 & & 6 & & 7 & & 8 & & 9. \end{matrix}$$

Такимъ образомъ на дѣлѣ, нонаккордъ $g - \underline{h} - d - f - \underline{a}$ можетъ также заступить мѣсто звука доминанты *G*, предположивъ, что подобіе сохраняютъ еще явственно и тогда, когда положеніемъ тоновъ, *G* долженъ оставаться нижайшимъ, а $\underline{a}$ высшимъ тономъ; было бы также хорошо, если бы f не лежало слишкомъ низко. Такъ какъ a девятый частный тонъ звука *G*, который во всѣхъ употребительныхъ оттѣнкахъ весьма слабъ, нерѣдко даже и не существуетъ, кромѣ того такъ какъ между $\underline{f} - f$ равно какъ и между a и $\underline{a}$ остается различіе на комму, то поэтому слѣдуетъ сдѣлать подобіе нонаккорда съ звукомъ *G* по возможности большимъ. Тогда различіе между $\underline{f}$ и f и a и $\underline{a}$ дѣлается не очень поразительнымъ. Такъ какъ въ этомъ случаѣ f и $\underline{a}$ входятъ въ звукъ *G* только приблизительно а не вполнѣ, то ихъ слѣдуетъ разсматривать, какъ диссонирующія ноты нонаккорда $g - \underline{h} - d - f - \underline{a}$. Введеніе $\underline{a}$ дозволено на томъ же основаніи, какъ и f въ дотинант-септаккордѣ $g - \underline{h} - d - f$. Наконецъ можно выпустить отдѣльные тоны пятиголоснаго нонаккорда, чтобы его сдѣлать четырехголоснымъ, напр: его квинту или же его основной тонъ

$$g - \underline{h} - f - \underline{a} \text{ или } \underline{h} - d - f - \underline{a}.$$

Предполагая, что порядокъ тоновъ по возможности сохраненъ и

въ особенности удерживаютъ a какъ высшій тонъ, аккордъ можно будетъ еще признать за звукъ *G* и замѣнять имъ послѣдній.

Здѣсь, какъ мнѣ кажется, лежитъ простое основаніе, почему музыканты находятъ желательнымъ, чтобы въ аккордѣ $\underline{h} - d - f - a$, $\underline{a}$ былъ бы высшимъ тономъ. Гауптманнъ даже представляетъ это обусловленнымъ какъ правило, при чемъ онъ ему даетъ довольно искусственное основаніе. Вслѣдствіе этого двойственность этого аккорда, на сколько это возможно, уничтожается и онъ получаетъ явственное отношеніе къ доминантѣ *тона* *C*-Dur, тогда какъ при другихъ расположеніяхъ аккорда, онъ будетъ близокъ къ смѣшенію съ субдоминант-аккордомъ $\underline{A}$-Moll. Впрочемъ составленный при вѣрной настройкѣ изъ частныхъ тоновъ звука *G*, аккордъ $g - \underline{h} - d - f - a$ звучитъ весьма мягко и мало диссонируя; нонаккордъ *тона* *C*-Dur $g' - \underline{h} - d' - f' - \underline{a}'$ и септаккордъ въ расположеніи $\underline{h} - d' - f' - a'$ звучатъ немного грубѣе отъ пиѳагоровой терціи $d' - f'$ и невѣрной квинты $d' - \underline{a}'$, но они не очень рѣзки. Напротивъ они становятся очень грубы, если a' лежитъ ниже.

Септаккордъ $\underline{h} - d - f - \underline{a}$ съ слѣдующимъ за нимъ трезвучіемъ $c - \underline{e} - g$, какъ уже передъ этимъ было замѣчено, содержатъ всѣ тоны гаммы *C-Dur*, такъ что это соединеніе аккордовъ устанавливаетъ *тонъ* весьма быстро и точно.

5. Уменьшенный септаккордъ $\underline{h} - d - f - \overline{as}$ раздѣляетъ послѣднее свойство съ соотвѣтствующимъ аккордомъ мажорнаго *тона*; вслѣдствіе этого и по причинѣ своей большой измѣнчивости онъ чрезвычайно часто употребляется въ новѣйшей музыкѣ и быть можетъ слишкомъ уже часто для модуляцій. Онъ не содержитъ тона, который бы могъ принадлежать къ звуку какой бы то ни было другой ноты аккорда; однако три тона $\underline{h} - d - f$ можно разсматривать какъ принадлежащіе звуку доминанты *G*, почему онъ и является какъ нонаккордъ въ сложеніи

$$g - \underline{h} - d - f - \overline{as}.$$

Поэтому съ введеніемъ чуждаго тона $\overline{as}$ онъ несовершенно замѣщаетъ звукъ доминанты, и тоны f и $\overline{as}$ можно разсматривать какъ диссонирующіе тоны этого аккорда. Но связь трехъ тоновъ $\underline{h} - d - f$ въ звукѣ *G* не такъ поразительна для того, чтобы тоны f и $\overline{as}$ рѣшительно подчинялись въ своемъ движеніи тонамъ $\underline{h}$ и d. По крайней мѣрѣ допускаютъ ихъ свободный входъ и разрѣшаютъ аккордъ посредствомъ возможно малаго перемѣщенія всѣхъ его тоновъ, такъ какъ онъ въ себѣ не имѣетъ такой твердой связи, чтобы допускать большіе интервалы.

6. Септаккорды съ большою септимою въ прямой системѣ

аккордовъ *тона* $f - \underline{a} - c - \underline{e}$ и $c - \underline{e} - g - \underline{h}$ въ *C-Dur* и $\overline{as} - c - \overline{es} - g$ въ *C-Moll*, представляютъ какъ это уже было замѣчено прежде, главнымъ образомъ мажорный аккордъ съ большою септимою, какъ диссонирующимъ тономъ. Большая септима составляетъ довольно грубый диссонансъ и находится въ весьма рѣшительномъ противорѣчіи съ нижележащимъ звукомъ къ которому она рѣшительно не подходитъ.

7. Септаккорды съ малою септимою въ прямой системѣ $\underline{a} - c - \underline{e} - g$ и $\underline{e} - g - \underline{h} - d$, дѣйствительно болѣе всего выдѣляютъ звукъ ихъ терціи, къ которой основной тонъ кажется прибавленнымъ. $c - \underline{e} - g - \underline{a}$ есть звукъ *C* съ прибавкою $\underline{a}$; $g - \underline{h} - d - \underline{e}$ есть звукъ *G* съ прибавкою $\underline{e}$. Но такъ какъ $c - \underline{e} - g$ и $g - \underline{h} - d$ суть часто возвращающіеся главные аккорды *тона*, то прибавленіе $\underline{a}$ или $\underline{e}$ въ этихъ септаккордовъ производитъ ихъ противуположностью относительно рѣзкое впечатлѣніе; кромѣ того основные тоны этихъ септаккордовъ не такъ изолированы, какъ аккорда $d - f - \underline{a} - c$, неимѣщаго въ себѣ вѣрной квинты. Въ $\underline{a} - c - \underline{e} - g$, $\underline{a}$ имѣетъ квинту $\underline{e}$ и кромѣ того также и септиму g, принадлежащія его звуку; точно также въ $\underline{e} - g - \underline{h} - d$ можно $\underline{h}$ и d причислить къ звуку $\underline{e}$. Поэтому тонъ $\underline{a}$ въ первомъ аккордѣ и тонъ $\underline{e}$ во второмъ, не должны быть непремѣнно подчинены закономъ голосоведенія диссонансовъ.

За нормальное положеніе всѣхъ этихъ аккордовъ гармонисты обыкновенно склонны принимать положенія септаккорда, а его основной тонъ за главный тонъ аккорда. Быть можетъ было бы естественнѣе разсматривать какъ главное положеніе аккорда $\underline{a} - c - \underline{e} - g$, положеніе $c - \underline{e} - g - \underline{a}$, и принимать за основной тонъ *C*. Но послѣдній аккордъ есть звукъ *C* съ стремленіемъ къ $\underline{a}$ и этимъ введеніемъ $\underline{a}$ пользуются въ модуляціяхъ для того, чтобы перейти къ сроднымъ тонамъ $\underline{a}$, не сродныхъ съ аккордомъ $c - \underline{e} - g$, именно къ $\underline{d} - f - \underline{a}$. Точно также можно слѣдовать отъ $g - \underline{h} - d - \underline{e}$ къ $\underline{a} - c - \underline{e}$, что было бы всегда скачкомъ отъ $g - \underline{h} - d$. Слѣдовательно $\underline{a}$ и $\underline{e}$ суть конечно существенныя составныя части аккорда и съ этой практической точки зрѣнія имъ можно оставить названіе основныхъ тоновъ соотвѣтствующихъ аккордовъ.

8. Септаккордъ на тоникѣ минорнаго *тона*, $c - \overline{es} - g - \underline{h}$ употребляется рѣдко, потому что h по существу принадлежитъ восходящему движенію въ минорномъ *тонѣ*, тогда какъ правильно разрѣшающаяся септима должна нисходить. Во всякомъ случаѣ было бы лучше составить аккордъ $c - \overline{es} - g - \overline{b}$, который подобенъ аккордамъ, названнымъ подъ цифрою 7.

ГЛАВА XVIII.

Законы голосоведенія.

До сихъ поръ мы постоянно разсматривали только отношенія музыкальнаго сочиненія къ тоникѣ и его аккордовъ къ тоническому аккорду. На этихъ отношеніяхъ основывается соединеніе всей звуковой массы къ находящемуся въ связи цѣлому. Но кромѣ этого существуетъ однако же потребность видѣть непосредственно слѣдующіе другъ за другомъ аккорды соединенными между собою посредствомъ естественныхъ отношеній. Отъ этого художественное соединеніе всей звуковой массы становится еще болѣе тѣснымъ и вообще нужно будетъ всегда стараться воспроизводить подобное соединеніе, хотя для достиженія особыхъ цѣлей выраженія и можетъ быть выбранъ въ видѣ исключенія быстрѣйшій и менѣе соединенный родъ слѣдованія. Мы уже видѣли при обозрѣніи развитія гаммъ, что чувство для соединенія цѣлаго, посредствомъ сродства къ тоникѣ, было сначала совершенно не развито, или же развито мало; что вмѣсто такой связи существовало скорѣе цѣповидное соединеніе ряда квинтъ; что это послѣднее было по крайней мѣрѣ развито такимъ образомъ, чтобы добиться въ теоретическихъ воззрѣніяхъ пиѳагорейцевъ осмысленнаго строенія системы тоновъ. Но и возлѣ сильно развитаго чувства къ тоникѣ, какъ оно господствуетъ въ новѣйшей гармонической музыкѣ, необходимость цѣповиднаго соединенія отдѣльныхъ тоновъ и аккордовъ не потерялась, хотя въ рядѣ послѣдовательныхъ квинтъ, который первоначально соединялъ тоны строя, напр:

$$f - c - g - d - a - e - h$$

произошелъ перерывъ отъ введенія вѣрныхъ терцій, потому что мы теперь имѣемъ

$$f - c - g - d \mid \underline{d} - \underline{a} - \underline{e} - \underline{h}$$

Музыкальное соединеніе между двумя слѣдующими другъ за другомъ нотами можетъ быть опредѣлено:

1. Посредствомъ сродства звуковъ, которое можетъ быть либо:

а. **Прямое**, когда между двумя слѣдующими другъ за другомъ тонами существуетъ вѣрный консонирующій интервалъ; при этомъ именно, какъ мы уже видѣли прежде, одинъ изъ явственно различаемыхъ частныхъ тоновъ перваго звука всегда равенъ таковому же втораго. Отъ этого для чувства, высота тона слѣдующаго звука опредѣлена явственно. Это лучшій и яснѣйшій родъ соединенія. Тѣснѣйшее сродство такого рода состоитъ въ скачкѣ на октаву, который однако же употребляется мелодично преимущественно только въ басовыхъ голосахъ, а въ верхнихъ рѣдко, такъ какъ онъ требуетъ слишкомъ внезапнаго измѣненія высоты тона. Къ этому присоединяется скачекъ на квинту или кварту, которыя еще обѣ весьма опредѣленны и явственны; затѣмъ слѣдуютъ интервалы на большія сексты и терціи, которые воспроизводятся еще легко и опредѣленно, тогда какъ интервалы малыхъ секстъ и терцій начинаютъ получать нѣчто неувѣренное. Въ эстетическомъ отношеніи, могу я сказать, слѣдуетъ замѣтить, что между названными мелодичными слѣдованіями, высшую степень художественной красоты имѣютъ слѣдованія большими секстами и терціями, что можетъ быть находится въ связи съ тѣмъ, что упомянутые интервалы лежатъ на предѣлахъ интерваловъ нами постигаемыхъ. Слѣдованіе интервалами квинтъ и квартъ слишкомъ явственно и поэтому, такъ сказать, слишкомъ обдуманно и сухо; интервалы малыхъ терцій и въ особенности малыхъ секстъ начинаютъ звучать неопредѣленно. Между названными интервалами большія терціи и большія сексты составляютъ вѣрную средину между опредѣленнымъ и неопредѣленнымъ. Большія сексты и терціи находятся, какъ кажется, въ гармоніи въ такомъ же отношеніи и къ остальнымъ консонансамъ.

b. Либо **сродство не прямое** и только во второй степени. Такое сродство находится въ предѣлахъ скалы во всѣхъ слѣдованіяхъ на полутоны или цѣлые тоны, какъ напр:

$$\underbrace{c - d}_{G} \quad \underbrace{d - \underline{e}}_{G} \quad \underbrace{\underline{e} - f}_{C.}$$

Большой цѣлый тонъ $c - d$ слѣдуетъ отъ кварты къ квинтѣ подразумѣваемаго тона G, который былъ принимаемъ Рамо въ качествѣ основнако баса къ названному мелодичному слѣдованію. Малый цѣлый тонъ $d - \underline{e}$ слѣдуетъ отъ квинты къ большой секстѣ вспомогательнаго тона G; полутонъ $\underline{e} - f$, отъ большой терціи къ квартѣ вспомогательнаго тона C. Но если вспомогательный тонъ долженъ быть легко доступенъ пѣвцу и слушателю, то онъ долженъ быть однимъ изъ главныхъ тоновъ строя. Такимъ образомъ интервалъ $\underline{a} - \underline{h}$

въ гаммѣ C-Dur затрудняетъ пѣвцовъ, хотя это и слѣдованіе на большой цѣлый тонъ, которое можетъ быть легко сдѣлано при вспомогательномъ тонѣ $\underline{e}$. Но звукъ $\underline{e}$ не сохраняется въ памяти такъ твердо и подготовленно какъ C и его квинтъ G и F. Поэтому гексахордъ **Гвидо Арентинскаго** (Guido von Arezzo), который былъ нормальною скалою пѣвцовъ въ теченіи всего періода среднихъ вѣковъ, прерывался секстою. *) Этотъ гексахордъ пѣлся исходя отъ разныхъ основныхъ тоновъ, но составляя одну и туже мелодію:

Ut Re Mi Fa Sol La
или *G A H C D E*
или *C D E F G A*
или *F G A B C D*

При этомъ интервалъ *Mi — Fa* составляетъ постоянно полутонъ.

Поэтому то **Рамо** предпочиталъ воспроизводить въ минорномъ *тонѣ* интервалы $d - \overline{es}$ и $\overline{es} - f$, опираясь скорѣе на вспомогательные тоны G и C, чѣмъ на B, септиму нисходящей гаммы, которая не имѣетъ къ тоникѣ довольно сродства и поэтому, какъ вспомогательный тонъ, не достаточно твердо лежитъ въ памяти пѣвца. Если для $d - \overline{es}$ взять въ качествѣ вспомогательнаго тона ближайшій высшій тонъ g, то получится интервалъ отъ его нижней кварты къ большой нижней терціи, а $\overline{es} - f$ выразитъ интервалъ отъ большой нижней сексты къ нижней квинтѣ ближайшаго высшаго c. Напротивъ интервалъ $\overline{as} - \underline{h}$ въ минорной гаммѣ не можетъ никакъ привести къ сродству во второй степени. Поэтому то онъ также рѣшительно не мелодиченъ и долженъ былъ быть совершенно избѣгаемъ въ старинной гомофонической музыкѣ, равно какъ и интервалы фальшивыхъ квинтъ и квартъ напр: $\underline{h} - f'$ или $f' - \underline{h}'$. Отсюда то происходятъ упомянутыя уже выше измѣненія восходящихъ и нисходящихъ минорныхъ гаммъ.

Въ новѣйшей гармонической музыкѣ многія изъ этихъ затрудненій уничтожились или сдѣлались менѣе чувствительными, такъ какъ вѣрно воспроизведенная гармонизація можетъ возстановить тѣ соединенія, которыя не достаютъ мелодичному слѣдованію отдѣльнаго голоса. Поэтому то гораздо легче спѣть неизвѣстный голосъ

*) **Д'Аламбертъ** объясняетъ на томъ же основаніи разграниченіе древнегреческаго гептахорда соединеннаго изъ двухъ тетрахордовъ:

$$h - c - d - e - f - g - a$$

въ которомъ избѣгнутъ интервалъ $a - h$. Но объясненіе могло бы подходить только къ такому *тону*, въ которомъ c образуетъ тонику, чего въ древнегреческой гаммѣ не бываетъ.

многоголоснаго сочиненія съ сопровожденіемъ фортепіано, которое даетъ гармонію, чѣмъ сочиненіе написанное для одного голоса и безъ сопровожденія. Въ первомъ случаѣ узнаютъ отношеніе поющагося тона ко всей гармоніи, въ послѣднемъ же только отношеніе къ ближайшимъ сосѣднимъ тонамъ отдѣльнаго голоса.

2. Тоны могутъ входить въ музыкальное соединеніе посредствомъ сосѣдства ихъ по высотѣ. Объ этомъ уже было сказано, когда шла рѣчь о вводномъ тонѣ. Тоже самое относится къ хроматическихъ ходахъ и для вставныхъ тоновъ; если мы напр: поемъ въ *C*-Dur, вмѣсто *C — D*, *C — Cis — D*, то *Cis* не имѣетъ никакого сродства первой или второй степени къ тоникѣ *C* и не имѣетъ также никакого гармоническаго или мелодическаго значенія; онъ ничто иное какъ вставленная между обоими тонами ступень, которая не принадлежитъ къ гаммѣ и служитъ только къ тому, чтобы сдѣлать движеніе ступенями въ гаммѣ подобнымъ непрерывному движенію обыкновеннаго разговора, плача или воя. Греки въ своей энгармонической системѣ, въ которой они дѣлили полутонъ на два интервала, довели это дѣленіе еще дальше, чѣмъ мы это дѣлаемъ теперь. Хроматическое слѣдованіе въ полутонахъ, не смотря на чуждость достигаемаго тона происходитъ съ достаточною явственностью для того, чтобы оно могло быть также употребляемо въ модуляціонныхъ переходахъ для внезапнаго достиженія отдаленно расположенныхъ *тоновъ*.

Итальянское составленіе мелодіи особенно богато такими задерживающими тонами. Изслѣдованія о законахъ ихъ вхожденія находятся въ двухъ сочиненіяхъ г. Базеви (A. Basevi) *).

При этомъ соблюдается безъ изъятія то правило, что тоны чуждые гаммѣ могутъ быть введены только тогда, когда они отстоятъ на полутонъ отъ ноты гаммы, въ которую они разрѣшаются, тогда какъ собственные тоны гаммы могутъ быть свободно вставлены къ дисгармонирующему сопровожденію, если они даже должны для разрѣшенія слѣдовать на цѣлый тонъ.

Интервалы цѣлыхъ тоновъ, будучи воспроизводимы въ діатонической гаммѣ, могутъ входить такимъ образомъ, что послужатъ только звеномъ между двумя другими тонами лежащими въ аккордѣ. Это такъ называемые проходящіе тоны (Durchgangstöne). Слѣдовательно, если напр: при выдерживаемомъ трезвучіи *C*-Dur, голосъ воспроизводитъ ходъ:

$$c - d - \underline{e} - f - g,$$

*) Introduction à un nouveau Système d'Harmonie; traduit par L. Delâtre. Florence 1865. Studj sull' Armonia. Firenze 1865.

то тоны *d* и *f* не подходятъ къ аккорду и не имѣютъ также никакого отношенія къ гармоніи, а основываются только на мелодическомъ слѣдованіи отдѣльнаго голоса. Этимъ проходящимъ тонамъ даютъ по правилу возможность падать на неударяемыя части такта и даютъ имъ короткую длительность. Слѣдовательно въ предъидущемъ примѣрѣ *c*, $\underline{e}$ и *g* помѣстили бы на ударяемыхъ частяхъ такта. При этомъ *d* составляетъ проходящій тонъ между *c* и $\underline{e}$, *f* проходящій тонъ между $\underline{e}$ и *g*. Но для ихъ пониманія существенно то, чтобы они входили только ступенями полутоновъ или цѣлыхъ тоновъ; такимъ образомъ они даютъ мелодичное движеніе слѣдующее легко и безъ сопротивленія, въ которомъ не ударяемые диссонирующіе тоны почти не слышимы.

Въ существенно диссонирующихъ аккордахъ слѣдуетъ также по правилу сохранить изолированному въ аккордѣ диссонирующему тону возможно доступное и легко воспроизводимое мелодическое слѣдованіе. Такъ какъ чувство натуральнаго сродства такого отдѣльнаго тона находится, такъ сказать, подавленнымъ отъ одновременно раздающихся другихъ тоновъ, дѣйствующихъ гораздо могущественнѣе на воспринятіе, то для опредѣленія высоты и мелодичныхъ отношеній такого диссонирующаго тона, пѣвцамъ и слушателямъ остается только діатоническое слѣдованіе ступенями. Поэтому то по правилу слѣдуетъ требовать, чтобы диссонирующій тонъ входилъ бы и слѣдовалъ далѣе только ступенями.

Существенно диссонирующими аккордами должны разсматриваться тѣ, въ которые диссонирующія ноты не входятъ только, какъ проходящія ноты длящагося аккорда, но сопровождены либо собственнымъ аккордомъ, отличающимся отъ предъидущаго и послѣдующаго, или же гдѣ онѣ своею длительностью выдѣляются такъ, что не могутъ ускользнуть отъ вниманія слушателя. Уже выше было замѣчено, что эти диссонирующіе аккорды не могутъ быть употребляемы ради самихъ себя, но примѣняются главнымъ образомъ какъ средство усиленія въ предложеніи стремленія къ разрѣшенію. Отсюда, для движенія диссонирующаго тона, слѣдуетъ, что если онъ входитъ въ аккордъ въ качествѣ ступени и такимъ же образомъ изъ него снова выходитъ, то онъ долженъ оба раза восходить или оба раза нисходить. Если же бы напротивъ ему дали въ диссонирующемъ аккордѣ обратное движеніе, то диссонансъ не казался бы мотивированнымъ. Тогда было бы умѣстнѣе оставить воспроизводимый тонъ въ его консонирующемъ положеніи, не приводя его въ движеніе. Движеніе, которое тотчасъ снова возвращается къ своей исходной точкѣ и при этомъ воспроизводитъ диссонансъ лучше оставить; оно не имѣетъ никакой цѣли.

Во вторыхъ можно положить правиломъ, что движеніе диссонирующаго тона не можетъ быть направлено такъ, чтобы оно уничтожало диссонансъ когда другія части аккорда остаются безъ движенія, потому что диссонансъ, который бы исчезалъ самъ собою, если бы только ожидали его слѣдующаго, такъ сказать, шага (Schritt) не можетъ дать никакого понужденія въ слѣдованіи гармоніи. Поэтому онъ звучитъ неявственно и ничѣмъ не оправданъ. Это служитъ главнымъ основаніемъ тому, почему септаккорды, долженствующіе разрѣшаться ходомъ септимы, допускаютъ только ходъ септимы нисходя, потому что если бы септима въ гаммѣ восходила, то она бы сдѣлалась октавою основнаго тона и диссонансъ аккорда бы исчезъ. Такого рода ходы въ доминат-септаккордѣ встрѣчаются у Баха, Моцарта и другихъ; но тогда септима звучитъ только какъ проходящій тонъ и должна быть разсматриваема какъ таковой. При этомъ для хода гармоніи она не имѣетъ значенія.

Высота тона отдѣльнаго диссонирующаго тона обезпечена наиболѣе полно относительно многоголоснаго аккорда, если диссонирующій тонъ уже передъ этимъ содержался въ предшествующемъ аккордѣ какъ консонансъ и просто удерживается въ то время какъ входитъ новый аккордъ. И такъ если аккорды будутъ слѣдовать какъ

$$G - d - g - \underline{h}$$
$$c - \underline{e} - g - \underline{h}$$

то h въ первомъ аккордѣ опредѣленъ посредствомъ консонанса съ G; когда входятъ тоны c и $\underline{e}$ онъ остается, и поэтому въ септаккордѣ $c - \underline{e} - g - \underline{h}$ становится диссонансомъ. Таковой диссонансъ называется **приготовленнымъ**. Это былъ единственный дозволенный способъ вводить диссонансы до конца XVI столѣтія. Приготовленные диссонансы производятъ особенно сильное дѣйствіе; часть предъидущаго аккорда медлитъ отступить и сперва должна быть вытѣснена насильно съ своего мѣста слѣдующимъ аккордомъ. Такимъ образомъ стремленіе къ слѣдованію, не смотря на противодѣйствіе смягчающаго медленно сопротивленія выражается весьма ощутительно. Но поэтому то именно вновь вводимый аккордъ (въ послѣднемъ примѣрѣ $c - \underline{e} - g$) долженъ вступать на сильно ударяемой части такта; иначе ему недостаетъ выраженія напряженія силы. Напротивъ разрѣшеніе приготовленнаго диссонанса падаетъ натурально на неударяемую часть такта. Вообще нѣтъ ничего хуже, когда диссонансы играются или поются нерѣшительно и неявственно. При этомъ они просто неблагозвучны. По правилу они могутъ быть оправданы только тогда, когда выражаютъ энергію и сильное стремленіе впередъ.

Такіе приготовленные диссонансы, такъ называемыя **задержанія** (Vorhalte), могутъ входить въ разнообразные другіе аккорды, кромѣ септаккордовъ, напр.

приготовленіе:	$G - c - \underline{e}$,
аккордъ задержанія:	$G - c - d$,
разрѣшеніе:	$G - \underline{H} - d$.

Тонъ c, приготовленный диссонансъ; во второмъ аккордѣ, который долженъ падать на ударяемую часть такта, входитъ d, квинта G, и производитъ диссонансъ $c - d$; теперь c должно исчезнуть, а именно удаляясь отъ d, на основаніи втораго вышепредставленнаго закона, отчего и происходитъ разрѣшеніе $G - \underline{H} - d$. Можно также заставить слѣдовать аккорды въ обратномъ порядкѣ, такъ что приготовленнымъ диссонансомъ, который вытѣсняется изъ своего мѣста посредствомъ c будетъ d. Но это не такъ хорошо, такъ какъ нисходящее движеніе большею частью лучше подходитъ къ вытѣсняемому тону, чѣмъ восходящее. Повышающаяся высота тона постоянно на насъ невольно производитъ впечатлѣніе большаго усилія, потому что для достиженія высокихъ тоновъ мы должны болѣе напрягать свой голосъ. Диссонирующему тону, который долженъ уступить большей силѣ, удобнѣе нисходить, чѣмъ восходить посредствомъ собственнаго напряженія. Однако и послѣднее движеніе можетъ быть умѣстнымъ при нѣкоторыхъ условіяхъ; для этого существуетъ достаточно примѣровъ.

Въ другомъ случаѣ, когда диссонансъ не приготовленъ, но является одновременно съ аккордомъ, въ которомъ онъ играетъ эту роль, какъ это главнымъ образомъ бываетъ въ септаккордахъ, значеніе диссонанса другое. Такъ какъ свободно входящія септимы должны входить по правилу нисходя, то ихъ можно себѣ постоянно представлять нисходящими изъ октавы основнаго тона ихъ аккорда, представляя себѣ вставленнымъ между предшествующимъ аккордомъ и септаккордомъ мажорный или минорный аккордъ, имѣющій основной тонъ септаккорда. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ, входящая септима только предвѣщаетъ, что этотъ консонирующій аккордъ распадется и что гармонія, посредствомъ мелодичнаго движенія, стремится къ новой цѣли. Эта цѣль,—аккордъ разрѣшенія, долженъ быть ударяемъ; поэтому входъ диссонанса необходимо падаетъ на предъидущую не ударяемую часть такта.

Входъ одного отдѣльнаго диссонирующаго тона, противупоставленнаго по правилу многоголосному аккорду не можетъ быть примѣненъ какъ выраженіе стремленія къ разрѣшенію, но входъ аккорда противупоставленнаго одному отдѣльному тону удовлетворяетъ этому усло-

вію, предполагая, что преобладающая сила не будетъ дана этому послѣднему. Поэтому въ порядкѣ вещей то, что первое происходитъ на неударяемыхъ частяхъ такта, послѣднее же на ударяемыхъ.

Можно разнообразно уклоняться отъ слѣдованія этимъ правиламъ, касающимся вхожденія диссонанса при септаккордахъ не прямой системы, въ которые входятъ кварта и секунда *тона* и тоны нижней стороны доминанты смѣшаны съ тонами верхней стороны доминанты. Эти аккорды могутъ быть введены еще для другой цѣли кромѣ усиленія динамическаго впечатлѣнія движенія гармоніи. Именно они имѣютъ также свойство продолжительнѣе удержать для чувства слушателя объемъ *тона*; этимъ то и оправдывается ихъ существованіе.

Нѣкоторые голоса аккорда тоники *C* могутъ весьма удобно слѣдовать къ тонамъ верхней стороны доминанты $g - \underline{h} - d$, другіе къ тонамъ нижней стороны доминанты $f - \underline{a} - c$ или $f - \overline{as} - c$, причемъ каждый голосъ, опираясь на чувство ближайшаго сродства, будетъ въ состояніи найти положеніе своего тона съ полнѣйшею увѣренностью. Конечно если при этомъ вошелъ диссонирующій аккордъ, то диссонирующіе тоны, въ которыхъ заглушено чувство отдаленнаго натуральнаго сродства посредствомъ звучащаго при этомъ одновременно чуждаго аккорда, должны будутъ слѣдовать правилу разрѣшающихся диссонансовъ. Напр. пѣвецъ, который въ аккордѣ $g - \underline{h} - d - f$ поетъ *f*, напрасно бы старался себѣ представить какъ долженъ звучать $\underline{a}$, сродный тону *f*, чтобы приблизительно сдѣлать отъ него скачекъ вверхъ или внизъ; но онъ можетъ вполнѣ увѣренно исполнить тѣсный интервалъ полутона къ $\underline{e}$, въ аккордѣ $g - c - \underline{e}$. Напротивъ *g*, коего собственный звукъ представляется приблизительно септаккордомъ, можетъ двигаться къ своимъ сроднымъ тонамъ скачкомъ, напр. къ *c*, или же $\underline{h}$ къ *g*.

Въ аккордахъ $\underline{h} - d \mid f - \underline{a}$ и $\underline{h} - d \mid f - \overline{as}$, въ которыхъ не преобладаетъ ни сторона доминанты, ни сторона нижней доминанты, было бы вообще неблагоразумно допустить движеніе одного изъ тоновъ скачками.

Нельзя также совѣтывать переходить скачкомъ изъ другаго не изъ тоническаго аккорда, въ аккордъ не прямой системы, потому что только тоническій аккордъ имѣетъ одновременное сродство къ доминантаккорду и субдоминантаккорду.

При септаккордахъ прямой системы, переходъ отъ другаго аккорда, сроднаго обоимъ концамъ септаккорда, невозможенъ; поэтому то появленіе въ этомъ случаѣ диссонанса должно быть подчинено строгимъ правиламъ.

Относительно пониманія субдоминант-аккорда съ прибавочною секстою $f - \underline{a} - c - d$ въ *C*-Dur, воззрѣнія музыкантовъ не одинаковы.

Наиболѣе правильно положеніе Рамо, принимать за диссонирующій тонъ *d*, который долженъ разрѣшить диссонансъ восходя къ $\underline{e}$. Этото рѣшительно и есть благозвучнѣйшій родъ разрѣшенія. Напротивъ новѣйшіе теоретики рассматриваютъ этотъ аккордъ какъ септаккордъ отъ *d* и принимаютъ *c* за диссонансъ, который долженъ разрѣшиться нисходя, тогда какъ *d*, если *c* неподвиженъ, движется совершенно свободно, а слѣдовательно могъ бы также двигаться нисходя.

Слѣдованія аккордовъ. Подобно тому, какъ древняя гомофоническая музыка требовала цѣповиднаго сродства тоновъ мелодіи, новѣйшая музыка стремится точно также къ цѣповидному же соединенію аккордовъ въ гармоническомъ построеніи, при чемъ она можетъ допустить въ мелодичномъ слѣдованіи отдѣльныхъ тоновъ гораздо большую свободу, такъ какъ натуральныя сродства тоновъ обозначаются гораздо рѣшительнѣе и ощутительнѣе посредствомъ гармоніи, чѣмъ гомофоническою мелодіею. Стремленіе къ цѣповидному сродству аккордовъ было еще мало развито въ XVI столѣтіи. У великихъ итальянскихъ маэстро этого времени, аккорды принадлежащіе *тону* часто слѣдовали другъ за другомъ въ самыхъ странныхъ скачкахъ, которые бы мы допустили въ настоящее время только въ качествѣ рѣдкихъ исключеній. Напротивъ въ продолженіи XVII столѣтія развилось чувство и къ этой особенности гармоніи, вслѣдствіе чего въ началѣ XVIII столѣтія мы уже и находимъ относящіяся къ этому правила опредѣленно выраженными Рамо. Основываясь на данномъ имъ понятіи объ основномъ басѣ, Рамо излагаетъ это правило такъ: «основной басъ долженъ по правилу восходить или нисходить только въ вѣрныхъ квинтахъ или терціяхъ». По нашему представленію, основной басъ аккорда есть тотъ звукъ, который представляется либо одинъ, либо по крайней мѣрѣ соединенный съ тонами аккорда. Принятое въ этомъ смыслѣ правило Рамо согласуется съ мелодичнымъ ходомъ отдѣльнаго тона къ ближайшимъ сроднымъ тонамъ; точно также какъ голосъ мелодіи и звукъ аккорда долженъ слѣдовать только къ ближайшимъ сроднымъ тонамъ. Но ходъ посредствомъ сродства второй степени гораздо труднѣе мотивировать при аккордахъ, чѣмъ при отдѣльныхъ тонахъ, точно также какъ и ходъ въ малыхъ діатоническихъ ступеняхъ безъ сродства. Поэтому правило Рамо вообще и строже для хода основнаго баса, чѣмъ правила для мелодичнаго хода одного отдѣльнаго голоса.

Если мы напр. возьмемъ аккордъ $c - \underline{e} - g$, отвѣчающій звуку *C*, то мы можемъ отъ него слѣдовать въ квинтахъ къ звуку *G*, т. е. къ $g - \underline{h} - d$, или къ звуку *F*, $f - \underline{a} - c$. Оба послѣдніе аккорда имѣ-

ютъ соотвѣтственно по одному общему тону съ аккордомъ $c—\underline{e}—g$, именно g и c и слѣдовательно ему непосредственно прямо сродны.

Но мы можемъ также заставить звукъ слѣдовать терціями; при этомъ, если мы не желаемъ покинуть *тона*, то получимъ минорные аккорды. Переходъ отъ звука C къ звуку $\underline{E}$ выражается посредствомъ слѣдованія аккордовъ $c — \underline{e} — g$ и $\underline{e} — g — \underline{h}$, которые сродны посредствомъ двухъ тоновъ. Слѣдованіе $c — \underline{e} — g$ и $\underline{a} — c — \underline{e}$ отъ звука C къ звуку $\underline{A}$ подобно предъидущему. Послѣднее еще даже естественнѣе перваго, потому что аккордъ $\underline{a} — c — \underline{e}$ представляетъ невѣрный звукъ $\underline{A}$ съ примѣсью звука C, и слѣдовательно существовавшій передъ этимъ звукъ C остался въ слѣдующемъ аккордѣ сохраненнымъ съ двумя тонами, тогда какъ въ первомъ случаѣ этого не было.

Но если мы желаемъ покинуть *тонъ* C-Dur, то можемъ также слѣдовать къ вѣрнымъ звукамъ терцій, т. е. отъ $c—\underline{e}—g$ къ $\underline{e}—\underline{\underline{gis}}—\underline{h}$ или къ $\underline{a}—\underline{\underline{cis}}—\underline{e}$, что въ модуляціонныхъ ходахъ весьма часто и бываетъ.

Рамо допускаетъ только въ такихъ случаяхъ простой діатоническій ходъ основнаго баса при консонирующихъ трезвучіяхъ, гдѣ есть замѣны между мажорнымъ и минорнымъ аккордомъ, напр. отъ $g — \underline{h} — d$ къ $\underline{a} — c — \underline{e}$, т. е. отъ G къ звуку $\underline{A}$; но онъ все таки это называетъ вольностью. Въ дѣйствительности по нашему способу воззрѣнія это объясняется легко, если мы будемъ разсматривать минорный аккордъ $\underline{a} — c — \underline{e}$ какъ звукъ C съ примѣсью $\underline{a}$. При этомъ происходитъ переходъ путемъ тѣснаго сродства отъ G къ звуку C, и a является только въ зависимости отъ послѣдняго. Каждый минорный аккордъ представляетъ именно несовершеннымъ образомъ двоякій звукъ и поэтому то можетъ быть также принятъ въ двоякомъ смыслѣ. Это двойное значеніе (double emploi) Рамо формулировалъ систематически, сначала для минорнаго аккорда снабженнаго септимою, который въ формѣ $\underline{d} — f — \underline{a} — c$ можетъ имѣть значеніе звука $\underline{D}$, а въ формѣ $f — \underline{a} — c — d$ звука F, или по способу выраженія Рамо, можетъ имѣть основнымъ басомъ $\underline{D}$ или F. Въ этомъ септаккордѣ, это двоякое значеніе выдѣляется сильнѣе, такъ какъ въ немъ полнѣе содержится звукъ F; но оно принадлежитъ также, хотя и менѣе явственно и простому минорному аккорду.

Къ ложному кадансу

$$g — \underline{h} — d \; . \; . \; . \; . \; \underline{a} — c — \underline{e}$$

присоединяется другой, соотвѣтствующій кадансу въ минорномъ *тонѣ*

$$g — \underline{h} — d \; . \; . \; . \; . \; \overline{as} — c — \overline{es},$$

гдѣ входитъ аккордъ $\overline{as} — c — \overline{es}$, вмѣсто нормальнаго разрѣшенія $c — \overline{es} — g$. Однако отъ звука C здѣсь удерживается только одна единственная нота, отчего этотъ ложный каданс и дѣлается гораздо болѣе рѣзкимъ. Его смягчаютъ тѣмъ, что къ аккорду G прибавляютъ септиму f, которая сродна съ $\overline{as}$.

Если два аккорда, которые сродны только во второй степени, будутъ поставлены другъ возлѣ друга, то это вообще найдутъ нечаяннымъ скачкомъ. Но если аккордъ, который представляетъ ихъ соединеніе, главный аккордъ *тона*, и поэтому уже часто былъ слышанъ, то дѣйствіе не такъ поразительно. Такимъ образомъ въ заключительныхъ кадансахъ не рѣдко видятъ слѣдующія другъ за другомъ трезвучія $f — \underline{a} — c$ и $g — \underline{h} — d$, сродные между собою посредствомъ тоническаго аккорда:

$$\overbrace{f — \underline{a} — c} \qquad \overbrace{g — \underline{h} — d}$$
$$\underbrace{c — \underline{e} — g.}$$

Вообще, при всѣхъ этихъ правилахъ о слѣдованіи, надо допустить, что они подвергнуты многимъ исключеніямъ, частью потому, что выраженіе можетъ требовать чтобы въ ходѣ дѣлали въ видѣ исключенія сильнѣйшіе скачки, частью же потому, что воспоминаніе только что слышанныхъ передъ этимъ аккордовъ въ состояніи достаточно поддержать слабое сродство для того, чтобы сдѣлать его явственно чувствительнымъ. Очевидно, что когда учителя гармоніи считали то или другое запрещеннымъ въ музыкѣ, то они становились на ложную точку. На дѣлѣ въ музыкѣ нѣтъ ничего абсолютно запрещеннаго и находятъ исключенія изъ всѣхъ правилъ голосоведенія какъ разъ въ наиболѣе выразительныхъ предложеніяхъ величайшихъ композиторовъ. Нужно было бы при этомъ скорѣе начать съ того, что тотъ или другой запрещаемый интервалъ производитъ какое нибудь поразительное и необыкновенное дѣйствіе на слушателя, которое именно потому, что оно необыкновенно, умѣстно только тамъ, гдѣ слѣдуетъ выражать необыкновенное. Вообще предписанія теоретиковъ ведутъ къ полученію легко воспринимаемаго и удобно соединеннаго теченія мелодіи и гармоніи. Если желаютъ достичь этой цѣли, то хорошо дѣлаютъ, если соблюдаютъ ихъ запрещенія. Но нельзя отрицать и того, что слишкомъ боязливое избѣганіе необыкновеннаго, влечетъ къ нѣкоторой опасности быть тривіальнымъ и одностороннимъ, тогда какъ съ другой стороны, слишкомъ безцѣльное и частое уклоненіе отъ правилъ дѣлаетъ предложенія угловатыми и безсвязными.

Гдѣ слѣдуютъ другъ возлѣ друга два несвязанныя трезвучія, ихъ часто выгодно преобразовывать въ септаккорды для того, чтобы лу-

ше установить соединеніе. Вмѣсто послѣдняго упомянутаго слѣдованія трезвучій непрямаго сродства

$$f - \underline{a} - c \text{ и } g - \underline{h} - d$$

можно заставлять слѣдовать другъ за другомъ септаккорды, которые представляютъ тѣже звуки

$$f - \underline{a} - c - d \text{ и } g - \underline{h} - d - f.$$

При этомъ изъ четырехъ тоновъ, два тона остаются неизмѣненными; въ аккордѣ F, звучитъ еще d верхней стороны доминанты, въ аккордѣ G, f.

Такимъ образомъ септаккорды играютъ важную роль въ современной музыкѣ; они дѣлаютъ возможными удовлетворительно соединенные и все таки быстрые ходы въ аккордахъ, коихъ движеніе усиливается еще болѣе дѣйствіемъ диссонанса. Въ особенности легко воспроизводятся ходы къ нижней сторонѣ доминанты.

Такъ напр. исходя отъ трезвучія $g - \underline{h} - d$, мы можемъ перейдти не только къ аккорду C, $c - \underline{e} - g$, но выдерживая g какъ септиму, можемъ непосредственно перейдти къ септаккорду $\underline{a} - c - \underline{e} - g$, который соединяетъ оба трезвучія $c - \underline{e} - g$ и $\underline{a} - c - \underline{e}$ и затѣмъ тотчасъ же къ сродному послѣднему, аккорду $\underline{d} - f - \underline{a}$, такъ что вторымъ пріемомъ мы достигаемъ другаго крайняго предѣла разсматриваемой системы C-Dur. Этотъ ходъ даетъ одновременно лучшій родъ движенія для септимы, такъ какъ септима (въ данномъ примѣрѣ g) уже принадлежитъ предшествующему аккорду, слѣдовательно вводится приготовленною и нисходя (къ f) можетъ разрѣшиться. Если бы мы пожелали воспроизвести тоже самое движеніе наоборотъ, то мы должны были бы вступить септимою g отъ $\underline{a}$ аккорда $\underline{d} - f - \underline{a}$, но при этомъ были бы принуждены ввести c септаккорда скачкомъ, такъ какъ нисхожденіемъ отъ $\underline{d}$, мы бы получили запрещенныя параллельныя квинты ($\underline{d} - \underline{a}$ и $c - g$). Мы скорѣе должны были бы допустить его вступленіе скачкомъ отъ f, такъ какъ $\underline{a}$ перваго трезвучія долженъ уже дать $\underline{a}$ и g септаккорда. Слѣдовательно такимъ образомъ мы не получаемъ вполнѣ плавнаго и естественнаго хода къ верхней сторонѣ доминанты; движеніе стѣснено гораздо болѣе чѣмъ при ходѣ къ нижней сторонѣ доминанты. Сообразно этому равномѣрный и обыкновенный ходъ септаккорда,—ходъ съ септимою, падающею на трезвучіе, коего квинта одинакова съ основнымъ тономъ септаккорда. Если мы обозначимъ основной тонъ септаккорда I, его терцію III и т. д., то мы можемъ достигнуть обоихъ слѣдующихъ трезвучій нисходящею септимою:

I — III — V — VII и I — III — V — VII
I — IV — VI   I — III — VI.

Изъ этихъ обоихъ ходовъ, первый, который вступаетъ въ трезвучіе, коего основной тонъ IV, имѣетъ болѣе живости, такъ какъ онъ приводитъ къ аккорду съ двумя новыми тонами. Напротивъ другой, который ведетъ къ трезвучію основнаго тона VI, вводитъ только одинъ новый тонъ. Поэтому первый разсматривается какъ самое главное разрѣшеніе септаккордовъ, напр.

$g - \underline{h} - d - f$ $\underline{e} - g - \underline{h} - d$
$g - c - \underline{e}$ $\underline{e} - \underline{a} - c$

$c - \underline{e} - g - \underline{h}$ $\underline{h}^{1} - d - f - \underline{a}$
$c - f - \underline{a}$ $\underline{h} - \underline{e} - g.$

Посредствомъ нисхожденія тона VII вводится тонъ VI. Въ первомъ случаѣ это терція вновь вступающаго трезвучія, во второмъ, это основной тонъ. Онъ можетъ быть также квинтою. Это даетъ ходъ

I — III — V — VII
II — IV — VI,

который однако только натураленъ въ обоихъ аккордахъ

$$\underline{h} - d - f - \underline{a} \text{ и } \underline{h} - d - f - \overline{\underline{as}}$$
$$c - \underline{e} - g \qquad c - \overline{\underline{es}} - g,$$

такъ какъ оба септаккорда замѣняютъ звукъ G и тоническій аккордъ возстановляетъ связь сродства между обѣими ихъ половинами. Въ другихъ случаяхъ наша схема даетъ такъ называемые ложные ходы

$$g - \underline{h} - d - f \text{ или } g - \underline{h} - d - f$$
$$\underline{a} - c - \underline{e} \qquad \overline{\underline{as}} - c - \overline{\underline{es}},$$

которые оправдываются, въ особенности же первый какъ болѣе натуральный, тѣмъ, что $c - \underline{e}$ или $c - \overline{\underline{es}}$ аккорда разрѣшенія принадлежатъ нормальному разрѣшенію. Поэтому Рамо справедливо замѣчаетъ, что этотъ родъ разрѣшенія дозволенъ только тогда, когда въ септаккордѣ IV втораго аккорда нормальная кварта I.

Этимъ оканчиваются разрѣшенія нисходящею септимою. Разрѣше-

нія съ неподвижною септимою совершаются по слѣдующимъ схемамъ:

I — III — V — VII и I — III — V — VII

II — IV — VII II — — V — VII.

Въ первой схемѣ, септима дѣлается основнымъ тономъ новаго аккорда, во второй—терціею. Если бы она стала квинтою, то новый аккордъ совершенно бы совпалъ съ частью септаккорда:

I — III — V — VII
VII — III — V — VII.

Въ этихъ соединеніяхъ, разрѣшеніе совершается къ верхней сторонѣ доминанты. Слѣдованіе наиболѣе рѣшительно въ первомъ изъ нихъ, гдѣ септима дѣлается основнымъ тономъ. Эти разрѣшенія вообще болѣе необыкновенны, такъ какъ съ большею легкостью и чаще переходятъ уже отъ аккордовъ верхней стороны доминанты въ септаккорды прямой системы. При аккордахъ не прямой системы эти слѣдованія являются чаще, такъ какъ ихъ септимы могутъ также быть восходящими, отчего уничтожаются слѣдованія квинтами, которыя затрудняютъ переходъ отъ трезвучія къ лежащему на верхней сторонѣ его доминанты септаккорду.

Наконецъ, что касается переходовъ отъ одного септаккорда къ другому или къ диссонирующему трезвучію не прямой системы, которое можно разсматривать какъ сокращенный септаккордъ, то эти вещи достаточно развиты въ учебникахъ гармоніи и не представляютъ существенныхъ затрудненій, изъ за которыхъ намъ бы слѣдовало останавливаться.

Напротивъ, намъ слѣдуетъ еще выяснить нѣкоторыя правила, которыя относятся къ движенію въ полифоническихъ предложеніяхъ отдѣльныхъ голосовъ. Первоначально, какъ мы это изложили выше, въ такихъ полифоническихъ предложеніяхъ всѣ голоса имѣли одинаковое значеніе и должны были обыкновенно повторять тѣже самыя мелодичныя фигуры. Гармонія была побочнымъ, а мелодичное движеніе отдѣльныхъ голосовъ главнымъ дѣломъ. Поэтому нужно было озаботиться о томъ, чтобы каждый голосъ былъ самостоятельно и явственно отдѣленъ относительно другаго. Отношеніе между значеніемъ гармоніи и мелодіи существенно измѣнилось въ новѣйшей музыкѣ; первая получила гораздо болѣе высокое самостоятельное значеніе. Но истинное совершенство она все таки получаетъ только тогда, когда она происходитъ изъ звуковаго сочетанія многихъ голосовъ, изъ которыхъ каждый самъ по себѣ имѣетъ свой художественный и явствен-

ный мелодичный ходъ, при чемъ и общій ихъ ходъ легко понимается слушателемъ.

На этомъ-то основывается запрещеніе такъ называемыхъ параллельныхъ октавъ и параллельныхъ квинтъ. О смыслѣ этого запрещенія было не мало преній. Смыслъ запрещенія октавъ уяснился самъ собою, музыкальною практикою. Въ полифонической музыкѣ запрещаютъ вести два голоса, удаленные другъ отъ друга на одну или на двѣ октавы такъ, чтобы ихъ разстояніе при ближайшемъ интервалѣ было одно и тоже. Но въ многоголосномъ предложеніи запрещается точно также вести два голоса чрезъ одни и тѣже ноты въ однозвучіи; напротивъ, для того, чтобы мелодичный ходъ выдѣлить сильнѣе, не запрещается соединять два, или даже всѣ голоса въ однозвучіяхъ и октавахъ въ частности. Очевидно, что основаніе этому правилу слѣдуетъ искать только въ томъ, что богатство голосоведенія ограничивается однозвучіями и октавами. Это ограниченіе умѣстно тамъ, гдѣ оно исполняется съ явнымъ намѣреніемъ для одной мелодичной фразы, но неумѣстно для нѣкоторыхъ немногихъ нотъ въ теченіи сочиненія, гдѣ оно производитъ впечатлѣніе неловкаго нарушенія богатства голосоведенія. Сопровожденіе нижняго голоса высшею октавою усиливаетъ именно только часть его звука и слѣдовательно тамъ, гдѣ дѣло идетъ о разнообразіи голосоведенія, оно не существенно отличается отъ однозвучія.

Въ этомъ отношеніи дуодецима и ея нижняя октава (квинта), ближе всего подходятъ къ октавѣ. Поэтому параллельныя дуодецимы и параллельныя квинты представляютъ частью тоже неудобство, какъ и параллельныя октавы. Но при нихъ дѣло еще хуже. Именно въ то время какъ сопровожденіе въ октавахъ, тамъ гдѣ оно соотвѣтствуетъ цѣли, можно продолжить на всю мелодію, не производя ошибки,—этого нельзя достигнуть не покидая *тона*, для квинтъ и дуодецимъ. Дѣло въ томъ, что отъ тоники какъ основнаго тона нельзя сдѣлать никакого простаго, такъ сказать шага (Schritt) съ квинтовымъ сопровожденіемъ, не покинувъ *тона*. Въ *C*-Dur перешли бы восходя отъ квинты *c* — *g* къ квинтѣ *d* — *a*; но гаммѣ принадлежитъ не *a*, а низшее *a*. При нисхожденіи слѣдовало бы *h* — *fis*. Тона *fis* совершенно нѣтъ въ гаммѣ. Остальные интервалы отъ *d* восходя до *a* можно конечно воспроизвести въ предѣлахъ *тона* въ вѣрныхъ квинтахъ. Слѣдовательно усиливающее звукъ сопровожденіе въ дуодецимѣ не можетъ быть исполнено послѣдовательно. Но однако съ другой стороны оба интервала, въ особенности, если они слѣдуютъ мелодично на нѣсколько равныхъ интерваловъ легко могутъ быть разсматриваемы только какъ усиленія звука основнаго тона. При дуодецимѣ это основывается на томъ, что она прямо отвѣчаетъ одному изъ верхнихъ

тоновъ основнаго тона. При квинтѣ $c - g$, c и g являются какъ оба первые верхніе тона комбинаціоннаго тона C, сопровождающаго квинту. Слѣдовательно, гдѣ квинтовое сопровожденіе входитъ отдѣльно въ предѣлахъ многоголоснаго предложенія, оно подвергается упреку въ монотонности и не можетъ быть основательно употребляемо; слѣдовательно, оно должно быть во всякомъ случаѣ избѣгаемо.

Впрочемъ если слѣдованія квинтами противорѣчатъ только законамъ художественной композиціи, а не звучатъ для уха непріятно, то это вытекаетъ просто изъ того, что всѣ тоны нашего голоса и большинства инструментовъ сопровождены дуодецимами,—сопровожденіи, на которомъ основывается все строеніе нашей системы тоновъ. Слѣдовательно коль скоро квинты являются какъ механически принадлежащія звуку составныя части, онѣ имѣютъ свое полное оправданіе. Это такъ и бываетъ въ смѣсяхъ или микстурахъ органа. Въ этомъ регистрѣ, съ трубами, дающими основной тонъ звука вдуваются также постоянно и другія, дающія въ многократныхъ повтореніяхъ верхніе гармоническіе тоны этого основнаго тона, т. е. октавы, дуодецимы и даже высшія терціи. Такимъ образомъ, какъ уже было упомянуто прежде, составляютъ искусственно звукъ болѣе рѣзкій и пронзительный, чѣмъ тотъ, который даютъ простыя органныя трубки съ ихъ относительно слабыми верхними тонами. Только этимъ средствомъ звукъ органа становится достаточно сильнымъ для того, чтобы господствовать надъ пѣніемъ большаго хора. Почти всѣ музыкальные теоретики возставали противъ сопровожденія квинтами или даже терціями, но къ счастью ничего не могли сдѣлать противъ практическаго издѣлія органовъ. На дѣлѣ микстуры органа не даютъ иной звуковой массы какъ ту, которую бы давали смычковые инструменты или же тромбоны и трубы, если бы они исполняли ту же музыку. Совершенно было бы иное, если бы мы желали ихъ замѣнить самостоятельными голосами, отъ которыхъ мы должны также ожидать самостоятельнаго хода по законамъ мелодичнаго движенія, которые даны въ гаммѣ. Таковые самостоятельные голоса никогда не могутъ двигаться съ полною точностью механизма, они будутъ постоянно обнаруживать свою самостоятельность малыми ошибками и тогда мы должны будемъ ихъ подвергнуть закону гаммы, который дѣлаетъ невозможнымъ послѣдовательное сопровожденіе квинтами.

Запрещеніе квинтъ и октавъ распространяется, но съ меньшею строгостью, на непосредственно слѣдующіе консонирующіе интервалы, именно если двое изъ нихъ сопоставляются такъ, что составляютъ соединенную группу изъ верхнихъ тоновъ звука. Такимъ образомъ слѣдованія какъ

$$d - g - \underline{h}$$
$$c - f - \underline{a}$$

по мнѣнію музыкальныхъ теоретиковъ не такъ хороши какъ

$$\underline{h} - d' - g'$$
$$a - c' - f'.$$

Дѣло въ томъ что $d - g - h$ могутъ быть разсматриваемы какъ третій, четвертый и пятый верхніе тоны звука G_{-1}; напротивъ $\underline{h} - d' - g'$ могутъ быть разсматриваемы какъ пятый, шестой и восьмой верхніе тоны. Поэтому монотонность при первомъ слѣдованіи аккордовъ будетъ выражена гораздо рѣшительнѣе, чѣмъ при послѣднемъ, которое допускаютъ часто въ длинныхъ ходахъ, гдѣ оно мѣняется въ разные роды терцій и квартъ.

Запрещеніе квинтъ, быть можетъ, было въ исторіи музыки реакціею противъ первыхъ несовершенныхъ опытовъ многоголоснаго пѣнія, которое ограничивалось сопровожденіемъ въ квартахъ или квинтахъ, затѣмъ, какъ всякая реакція, она была утрирована въ непроизводительное для искусства время и отсутствіе параллельныхъ квинтъ было главнымъ признакомъ хорошаго сочиненія. Новѣйшіе гармонисты согласны въ томъ, что не слѣдуетъ отказываться отъ другихъ красотъ гармоніи изъ за того что въ нихъ попадаются параллельныя квинты, хотя, пока ничѣмъ другимъ не приходится жертвовать, избѣгать ихъ лучше.

Запрещеніе квинтъ имѣетъ еще впрочемъ другую основу, на которую уже указалъ Гауптманнъ. Дѣло въ томъ, что не такъ то легко воспроизвести ряды квинтъ, переходя отъ консонирующаго трезвучія къ другому близко сродному, даже при желаніи, такъ какъ въ этомъ случаѣ представляются другія болѣе близкія слѣдованія голосовъ. Такъ напр., отъ трезвучія C-Dur слѣдуютъ къ четыремъ сроднымъ трезвучіямъ, въ то время какъ основной басъ переходитъ въ терціи и квинты, слѣдующимъ образомъ:

$c - \underline{e} - g$	$c - \underline{e} - g$
$c - \underline{e} - \underline{a}$	$c - f - \underline{a}$
$c - \underline{e} - g$	$c - \underline{e} - g$
$\underline{H} - \underline{e} - g$	$\underline{H} - d - g.$

Но если основной басъ слѣдуетъ въ секундахъ, т. е. переходитъ уже не къ прямо сродному аккорду, то конечно ближайшее расположеніе новаго аккорда будетъ такое, которое требуетъ рядъ квинтъ. Напр.

$$g - h - d' \text{ или } g - \underline{h} - d'$$
$$\underline{a} - c' - \underline{e}' \text{ или } f - \underline{a} - c'.$$

Слѣдовательно, если въ этихъ случаяхъ желаютъ избѣгнуть квинтъ, то надо уже искать другія слѣдованія въ болѣе широкихъ интервалахъ

g — h — d' или g — h — d'
e — a — c' или a — c' — f'.

Слѣдовательно параллельныя квинты исчезаютъ сами собою при тѣсно соединенныхъ аккордахъ посредствомъ близкаго сродства и незначительнаго разстоянія между ними въ гаммѣ; тамъ же гдѣ онѣ входятъ, онѣ всегда служатъ признакомъ внезапныхъ переходовъ аккорда и если такіе переходы дѣлаютъ дѣйствительно, то лучше ходъ голосовъ сдѣлать подобнымъ тому, который воспроизводится самъ собою въ переходѣ къ сроднымъ аккордамъ.

Это условіе слѣдованія квинтъ, поставленное на главный планъ Гауптманномъ можетъ по видимому дать закону еще дальнѣйшее значеніе. Что это не единственный мотивъ для запрещенія квинтъ обнаруживается тѣмъ, что запрещенное слѣдованіе

g — h — d' . . . . f — a — c'

дозволяется, если оно происходитъ въ расположеніи аккордовъ

h — d' — g' . . . . a — c' — f',

причемъ скачекъ въ основномъ басѣ остается тѣмъ же.

Сюда же включили запрещеніе такъ называемыхъ скрытыхъ квинтъ и октавъ, по крайней мѣрѣ для внѣшнихъ голосовъ многоголоснаго предложенія. Запрещеніе говоритъ, что нижній и верхній голосъ предложенія не долженъ переходить въ консонансъ октавы или квинты (дуодецимы) въ прямомъ движеніи. Они скорѣе должны входить въ таковой консонансъ противоположнымъ движеніемъ, такъ чтобы одинъ изъ голосовъ нисходилъ, а другой восходилъ. Тоже самое относилось бы и для однозвучія въ двухголосномъ предложеніи. Смыслъ этого закона заключается только въ томъ, что каждый разъ какъ внѣшніе голоса переходятъ въ тоны звука, то они достигаютъ обоюдно относительнаго покоя. Тамъ гдѣ это случается, движеніе получаетъ конечно лучшее равновѣсіе, если голоса, обнимающіе всю звуковую массу, приближаются съ противуположныхъ сторонъ къ своему общему заключенію, чѣмъ если центръ тяжести звуковой массы перемѣщается въ томъ же направленіи какъ и внѣшніе голоса, которые, слѣдуя въ разныхъ скоростяхъ, нагонятъ другъ друга. Но тамъ, гдѣ движеніе идетъ далѣе въ томъ же смыслѣ и не-

намѣреваются имѣть точку покоя, тамъ не избѣгаютъ также и скрытыхъ квинтъ, какъ это видно изъ извѣстнаго примѣра

гдѣ интервалъ $G\ D$ достигается ходомъ скрытыхъ квинтъ.

Другое правило голосоведенія, касающееся такъ называемаго негармоническаго переченья, получилось первоначально вѣроятно отъ требованій человѣческаго голоса. Но что трудно достигается голосомъ, то должно естественно всегда также казаться и слушателю непривычнымъ и принужденнымъ. Подъ переченьемъ понимаютъ тотъ случай, когда два тона двухъ слѣдующихъ другъ за другомъ аккордовъ, принадлежа различнымъ голосамъ, составляютъ фальшивую октаву или фальшивую квинту; т. е. если въ первомъ аккордѣ одинъ голосъ издаетъ *h*, другой же, во второмъ, даетъ *b*, или же первый *c*, а другой *cis*. Переченье квинтъ запрещено только для внѣшнихъ голосовъ; оно напр. является, если въ первомъ аккордѣ басъ издаетъ *h*, а сопранъ *f* или наоборотъ; *hf* — фальшивая квинта. Смыслъ правила для фальшивыхъ октавъ тотъ, что пѣвцу трудно воспроизвести новый тонъ, выходящій изъ гаммы, если онъ только что передъ этимъ слышалъ ближайшій сосѣдній тонъ въ гаммѣ воспроизведенный другимъ голосомъ. Тоже самое относится и къ тому, если онъ долженъ перейдти къ фальшивой квинтѣ сильно выдѣляющагося въ гармоніи тона восходя или нисходя. Слѣдовательно въ этомъ правилѣ лежитъ извѣстный смыслъ, но оно имѣетъ достаточно исключеній, такъ какъ ухо новѣйшихъ музыкантовъ, пѣвцовъ и слушателей привыкло къ болѣе смѣлымъ комбинаціямъ и къ болѣе живому движенію. Всѣ эти правила существенно относятся къ такой музыкѣ, которая, какъ старинная церковная музыка, должна имѣть возможно покойное, нѣжное и всюду уравновѣшенное движеніе безъ преднамѣреннаго усилія. Гдѣ музыка должна выразить сильнѣйшее стремленіе и волненіе, эти правила теряютъ свой смыслъ. Поэтому то скрытыя квинты и октавы, равно какъ и переченья фальшивыхъ квинтъ, находятъ даже у такихъ строгихъ гармонистовъ, каковъ былъ Себастіанъ Бахъ, именно въ его хоралахъ, гдѣ движеніе конечно выражено гораздо сильнѣе, чѣмъ въ древней итальянской церковной музыкѣ.

ГЛАВА XIX.

Соотношенія къ эстетикѣ.

Сдѣлаемъ обзоръ полученнымъ выводамъ.

Во всякой музыкѣ, мелодической либо гармонической, мы предпочитаемъ извѣстный классъ звуковъ, примѣняемый почти исключительно при ея болѣе утонченномъ, художественномъ развитіи; это звуки съ верхними гармоническими тонами, т. е. тѣ, коихъ высшіе частные тоны имѣютъ числа колебаній, равныя кратнымъ числа колебаній нижайшаго частнаго тона звука, т. е. основнаго тона. Чтобы достигнуть хорошаго музыкальнаго дѣйствія, мы требуемъ для 5-ти или 6-ти низшихъ частныхъ тоновъ нѣкоторую умѣренную степень силы, а для остальныхъ верхнихъ тоновъ болѣе ограниченную силу.

Этотъ классъ звуковъ съ верхними гармоническими тонами долженъ быть названъ объективнымъ по той причинѣ, что къ нему относятся всѣ звуковыя движенія, получаемыя равномѣрно продолжающимся механическимъ движеніемъ и возбуждающія поэтому также равномѣрно продолжающееся ощущеніе; среди этого класса, на первомъ планѣ стоятъ звуки человѣческаго голоса, этого перваго, по времени и по значенію музыкальнаго орудія человѣка. Къ этому же классу относятся всѣ звуки духовыхъ и смычковыхъ инструментовъ.

Среди тѣлъ, приводимыхъ въ звучаніе ударомъ, нѣкоторые, подобно струнамъ, имѣютъ точно также верхніе гармоническіе тоны; этими то тѣлами и пользуются въ художественной музыкѣ.

Большинство остальныхъ тѣлъ, каковы перепонки, прутья, пластинки и т. д. имѣютъ негармоническіе побочные тоны и только тѣ изъ нихъ могутъ быть примѣняемы отдѣльно и въ совокупности съ собственно музыкальными инструментами, которыя имѣютъ не сильно выдающіеся такого рода побочные тоны.

Правда, что тѣла, приводимыя въ звучаніе посредствомъ удара, могутъ звучать долгое время, но они не даютъ тона длящагося съ

равномѣрною силою, а скорѣе тонъ болѣе или менѣе быстро замирающій и исчезающій. Слѣдовательно, необходимое для выразительнаго музыкальнаго исполненія болѣе продолжительное господство силы тона, возможно только при инструментахъ перваго рода, которые могутъ быть возбуждаемы длительно и давать только верхніе гармоническіе тоны. Напротивъ, тѣла, приводимыя въ звучаніе посредствомъ удара, имѣютъ конечно особое значеніе вслѣдствіе болѣе рѣзкаго обозначенія ритма.

Вторая причина, отъ которой зависитъ предпочтеніе звуковъ съ верхними гармоническими тонами, субъективная и обусловливается строеніемъ нашего уха. Даже всякій простой тонъ, если онъ достаточно силенъ, возбуждаетъ въ ухѣ, какъ это я вывелъ въ концѣ седьмой главы, слабѣйшія ощущенія верхнихъ гармоническихъ тоновъ, а при комбинаціи многихъ простыхъ звуковъ, подобныя же ощущенія и комбинаціонныхъ тоновъ. Если только будутъ воспроизведены отдѣльные звуки съ ирраціональными частными тонами достаточно сильно, то мы отъ этого получимъ диссонансы, тогда какъ простые тоны получаютъ нѣчто свойственное звукамъ съ верхними гармоническими тонами, собственно въ ухѣ.

Съ исторической точки зрѣнія, мы должны допустить, что музыка, какого бы она рода ни была, развилась изъ пѣнія; впослѣдствіи научились воспроизводить мелодическія дѣйствія, достигаемыя пѣніемъ, посредствомъ инструментовъ, коихъ оттѣнокъ звука былъ сложенъ подобно оттѣнку человѣческаго голоса. Изъ вышеприведенныхъ данныхъ объясняется, что выборъ инструментовъ, при наиболѣе совершенныхъ успѣхахъ техники, долженъ былъ окончательно ограничиться тѣми, которые даютъ звуки съ верхними гармоническими тонами.

Но этотъ твердо удержанный особый выборъ инструментовъ доказываетъ, что верхніе гармоническіе тоны всегда играли существенную роль въ музыкальныхъ построеніяхъ и не только лишь въ гармоническихъ, какъ это мы изучили во второмъ отдѣлѣ нашего сочиненія, но и въ мелодическихъ.

Съ другой стороны, мы можемъ во всякое время удостовѣриться въ томъ существенномъ значеніи, которое имѣютъ верхніе тоны въ мелодіи, посредствомъ отсутствія выраженія такихъ мелодій, которыя воспроизводятся въ объективно простыхъ тонахъ, напр. закрытыми органными трубками, и при которыхъ слабые верхніе гармоническіе тоны звучатъ совмѣстно въ ухѣ только субъективно.

Во всякой музыкѣ существовала уже издавна потребность слѣдовать опредѣленными ступенями; самый же выборъ этихъ ступеней не установливался долго. Для явственной интонаціи и различенія тѣс-

нѣйшихъ ступеней требуется болѣе утонченное усовершенствованіе техники и музыкальнаго слуха, чѣмъ при большихъ интервалахъ. Вслѣдствіе этого мы находимъ, что почти всѣ необразованные народы избѣгали полутоновъ и пользовались только большими интервалами. У нѣкоторыхъ болѣе развитыхъ народовъ, какъ-то: Китайцевъ, Валлійцевъ, такая скала удержалась въ народѣ до сихъ поръ.

Быть можетъ, что простѣйшій способъ опредѣленія такихъ ступеней, могъ бы показаться заключающимся въ томъ, что ихъ бы сдѣлали одинаковой величины, т. е. одинаково различаемыми въ ощущеніи. Такого рода постепенность, какъ это показалъ Фехнеръ (Fechner) въ своихъ изслѣдованіяхъ о психо-физическомъ законѣ, возможна для всѣхъ нашихъ чувственныхъ ощущеній. Этотъ законъ мы находимъ примѣненнымъ въ дѣленіи времени музыкальнаго ритма и въ силѣ свѣта, которою пользуются астрономы при опредѣленіи величины звѣздъ. Подобную же постепенность относительно высотъ тоновъ имѣетъ также и равномѣрно темпераціонная хроматическая скала фортепіано. Однако, не смотря на то, что въ нѣкоторыхъ неупотребляемыхъ скалахъ греческой и современной восточной музыки и встрѣчаются случаи, что отдѣльные болѣе тѣсные интервалы подраздѣлены по принципу одинаковой величины ступеней, но тѣмъ не менѣе мы, по всей вѣроятности, не найдемъ нигдѣ и никогда такой музыки, коей мелодія бы продолжительно двигалась въ равноотстоящихъ ступеняхъ, а всегда найдемъ большіе и меньшіе интервалы перемѣшанными въ гаммахъ такимъ образомъ, что если не принять во вниманіе сродства звуковъ, то это должно показаться вполнѣ произвольнымъ и неправильнымъ.

Во всѣхъ извѣстныхъ музыкальныхъ системахъ интервалъ октавы и квинты имѣлъ уже издавна преобладающее значеніе. Разность этихъ интерваловъ—кварта, коей разность съ квинтою составляетъ пиѳагоровъ цѣлый тонъ 8 : 9, посредствомъ котораго хотя октава и можетъ быть подраздѣлена съ приблизительною точностью, но не кварта и не квинта.

Послѣдніе слѣды стремленія, обнаруживающагося иногда въ скалахъ одноголосной музыки, образовать ступени по равенству величины, а не по сродству звуковъ, замѣчается, какъ мнѣ кажется, въ новѣйшей музыкѣ, въ хроматическихъ задерживающихъ нотахъ и въ вводномъ тонѣ строя, если послѣдній употребляется подобнымъ же имъ образомъ. Однакоже въ этомъ случаѣ таковымъ всегда бываетъ извѣстный интервалъ, выходящій изъ предѣловъ сродства, а именно полутонъ, коего незначительная величина можетъ быть легко измѣрена вслѣдствіе ощущенія его различимости даже въ такихъ

мѣстахъ, гдѣ не можетъ чувствоваться мгновенно его сродство къ другимъ звукамъ.

То рѣшительное значеніе, которое октава и квинта имѣли издавна во всѣхъ музыкальныхъ скалахъ, показываетъ, что на построеніе гаммъ вліялъ съ самаго начала другой принципъ, пока онъ наконецъ не опредѣлилъ художественно законченной формы гаммы. Этотъ принципъ мы обозначили названіемъ **сродства звуковъ**.

Сродство между двумя звуками въ 1-й **степени** заключается въ томъ, что они имѣютъ два одинаковыхъ частныхъ тона.

Подобіе двухъ звуковъ, находящихся между собою въ отношеніи октавы или квинты, должно было уже издавна поражать при пѣніи; этими же интервалами, какъ было замѣчено, получается и кварта, которая впрочемъ имѣетъ достаточно явственное воспринимаемое натуральное сродство для того, чтобы имѣть самостоятельное значеніе. Для того, чтобы найдти подобіе звуковъ большой терціи и большой сексты необходимо уже болѣе утонченное развитіе музыкальнаго слуха и особое благозвучіе голосовъ. Даже и теперь мы довольствуемся слишкомъ большими, привычными для насъ, терціями равномѣрной темпераціи, если мы ихъ только слышимъ въ мелодическомъ слѣдованіи, а не въ звуковомъ сочетаніи. Съ другой стороны мы не должны забывать, что въ положеніяхъ, касающихся одноголосной музыки, **Архитаса** и **Абдулъ-Кадира** предпочиталась натуральная терція, хотя оба музыканта должны были при ея введеніи отказаться отъ системы **Пиѳагора**, извѣстною своею теоретическою послѣдовательностью, простотою и пользовавшеюся большимъ авторитетомъ.

Слѣдовательно принципъ звуковаго сродства не опредѣляетъ всегда окончательно и даже теперь у всѣхъ націй построеніе гаммъ. Однако, какъ я уже пытался это выразить въ XIII-й главѣ, этотъ принципъ слѣдуетъ до нѣкоторой степени разсматривать какъ **свободно избранный принципъ стиля**. Но съ другой стороны, изъ этого принципа развилась музыкальная техника Европы и въ этомъ заключается доказательство тому, что упомянутый принципъ имѣетъ дѣйствительно то значеніе, которое мы ему приписываемъ. Вышеуказанный принципъ сталъ впервые вѣрно примѣняться въ гаммахъ съ тѣхъ поръ, какъ **діатоническая скала** получила сначала предпочтеніе, а затѣмъ пріобрѣла исключительное господство. Въ предѣлахъ діатонической гаммы возможно было воспроизвести прежде всего тѣ приблизительно разнящіяся формы, которыя вполнѣ выражались сопоставленіемъ другъ къ другу ладовъ въ древнемъ одноголосномъ пѣніи.

Однако принципъ звуковаго сродства имѣетъ гораздо большее значеніе въ гармонической, чѣмъ въ мелодической формѣ. Тожество

двухъ частныхъ тоновъ распознается въ мелодическомъ слѣдованіи только воспоминаніемъ; въ звуковомъ же сочетаніи оно провѣряется слушателемъ посредствомъ непосредственнаго чувственнаго ощущенія дрожаній, или же равномѣрно плавнаго консонанса. Живость между мелодическимъ и гармоническимъ впечатлѣніемъ также различна, какъ между воспоминаніемъ о предметѣ, передаваемомъ его изображеніемъ и непосредственнымъ чувственнымъ впечатлѣніемъ, получаемымъ отъ самого оригинала. Отсюда происходитъ также гораздо большая степень чувствительности къ вѣрности интерваловъ въ гармоническихъ звуковыхъ сочетаніяхъ, т. е. къ той вѣрности, которая можетъ быть развита утонченнѣйшими физическими способами измѣренія.

Вслѣдствіе этого надобно именно принять во вниманіе, что въ гармонической музыкѣ, сродство 2-й степени приводится къ слышимому сродству 1-й степени, посредствомъ соотвѣтственно выбраннаго основнаго баса, что вообще дѣлаетъ возможнымъ легкое явственное воспринятіе отдаленнаго сродства и вмѣстѣ съ тѣмъ способствуетъ къ болѣе явственной связи всякаго отдѣльнаго сродства для чувственнаго ощущенія слушателя съ исходнымъ пунктомъ,—тоникою. Несомнѣнно, что на этомъ основана вся ширина и богатство оттѣнковъ выраженія, которые могутъ быть воспроизведены въ новѣйшихъ композиціяхъ безъ потери художественной связи.

При этомъ мы видѣли какъ требованія гармонической музыки своеобразно подѣйствовали на построеніе гаммъ, какъ изъ всѣхъ древнихъ ладовъ остался неизмѣненнымъ только одинъ, а именно нашъ мажорный, тогда какъ остальные, своеобразно измѣняясь, сливались въ нашъ миноръ, который приблизительно уподобляется то древнему терціевому, то секстовому, то септимовому ладу, но ни одному изъ нихъ не отвѣчаетъ вполнѣ.

Этотъ процессъ развитія элементовъ современной музыкальной системы продолжался до средины прошлаго столѣтія. Можно сказать, что музыкальное чувство европейскихъ музыкантовъ и слушателей освоилось вполнѣ съ новою системою съ тѣхъ поръ, какъ стали заключать минорнымъ аккордомъ правильныя композиціи, написанныя въ минорномъ *тонѣ*. Минорный аккордъ былъ оставленъ своей тоникѣ, не смотря на свою нарушенность.

Не высказывается ли въ этомъ допущеніи минорнаго аккорда сознаніе чувства для другаго рода общихъ отношеній его трехъ тоновъ, основанное, какъ это полагаетъ Эттингенъ *) (A. v. Oettingen), на томъ, что три тона $c - es - g$ имѣютъ общій верхній тонъ

*) Das Harmonicsystem in dualer Entwickelung. Dorpat und Leipzig, 1866.

g''; если это справедливо, то будущее намъ покажетъ, что въ фонической системѣ Эттингена (такъ онъ называетъ теоретически имъ развитую минорную систему, отличающуюся однакоже существенно отъ исторической минорной) могутъ быть сочиняемы обширныя и связныя композиціи. Минорная система развилась во всякомъ случаѣ исторически какъ соглашеніе разнородныхъ требованій. Звукъ тоники могли именно вѣрно передать только мажорные аккорды; минорные аккорды всегда содержатъ въ своей терціи близко сродный тоникѣ и ея квинтѣ элементъ, который однако же не вполнѣ разрѣшающій и поэтому въ заключеніи не вполнѣ такъ подчиняется принципу тональности, господствовавшему до сихъ поръ въ развитіи музыки. Я пытался доказать вѣроятность того, что особое эстетическое впечатлѣніе минора происходитъ частью отъ только что сказаннаго, частью же отъ уклоняющихся комбинаціонныхъ тоновъ минорнаго аккорда.

Въ послѣдней части этого сочиненія я старался доказать, что построеніе гаммъ и гармонической ткани (Harmoniegewebe) есть произведеніе художественнаго изобрѣтенія, а не результатъ данный непосредственно строеніемъ, или естественною дѣятельностью нашего уха, какъ это большею частью склонны были думать до сихъ поръ. Конечно естественные законы дѣятельности нашего уха играютъ при этомъ значительную и вліятельную роль; они составляютъ основы, которыми воспользовалось художественное чувство для построенія нашей музыкальной системы, строеніе которой, какъ это весьма явственно обозначилось въ данномъ случаѣ въ теченіи нашего изслѣдованія, не можетъ быть иначе понято, какъ при точномъ знаніи сущности частей, послужившихъ къ ея построенію. Подобно тому, какъ люди, имѣющіе различное направленіе вкуса, возводятъ изъ тожественныхъ камней разнородныя постройки, точно также изъ исторіи музыки мы видимъ, что основаніемъ различныхъ музыкальныхъ системъ служатъ одинаковыя свойства человѣческаго уха. Поэтому я полагаю, что не только композиція закончиваемыхъ музыкально-художественныхъ произведеній, но собственно даже и построеніе нашей системы гаммъ, *тоновъ*, аккордовъ, короче говоря, всего того, что входитъ въ ученіе генералъ-баса, есть произведеніе художественнаго изобрѣтенія и поэтому должно подчиняться законамъ художественно прекраснаго. Дѣйствительно, со временъ Терпандера и Пиѳагора человѣчество трудилось и измѣняло діатоническую скалу въ теченіи двухъ съ половиною тысячилѣтій; можно до сихъ поръ во многихъ случаяхъ убѣдиться въ томъ, что замѣчательнѣйшими композиторами были именно тѣ, которые ввели въ музыкальную систему послѣдовательныя измѣненія, частью силою своего творчества, частью же примѣненіемъ къ практикѣ чужихъ нововведеній.

Эстетическій анализъ величайшихъ произведеній музыкальнаго искусства и пониманіе причинъ ихъ красотъ встрѣчаетъ всюду по видимому непреодолимыя препятствія. Напротивъ, въ изслѣдованной области элементарной музыкальной техники, мы пріобрѣли такъ много данныхъ для ея взаимной связи, что выводы нашего изслѣдованія могли связаться съ тѣми довольно общепринятыми взглядами новѣйшаго времени, которые построены на основѣ и характерѣ художественно прекраснаго. Въ самомъ дѣлѣ между этими двумя элементами не трудно открыть тѣсное соотношеніе и полное согласованіе; можно даже сказать, что для уясненія нѣкоторыхъ неясныхъ и трудныхъ мѣстъ всеобщей эстетики, существуетъ мало болѣе подходящихъ примѣровъ, какъ теорія гаммъ и гармоніи. Поэтому я полагалъ, что эти воззрѣнія не слѣдуетъ пройдти молчаніемъ и тѣмъ болѣе, что они находятся въ тѣсной связи съ ученіемъ о чувственныхъ воспринятіяхъ, а поэтому и съ физіологіею.

Нельзя болѣе сомнѣваться въ томъ, что прекрасное подлежитъ законамъ и правиламъ, зависящимъ отъ природы человѣческаго разума. Затрудненіе заключается только въ томъ, что эти законы и правила, осуществленіе которыхъ опредѣляетъ условіе прекраснаго и должны служить основаніемъ при критическомъ разборѣ, не опредѣляются разумомъ и не сознаются какъ художниками при исполненіи художественныхъ произведеній, такъ и наслаждающимися ими зрителями и слушателями. Хотя искусство преслѣдуетъ цѣль, но тѣмъ не менѣе художественное произведеніе должно казаться произвольнымъ твореніемъ художника, подлежа этому и въ будущемъ. Послѣдній долженъ создавать свои образы, слѣдуя фантазіи, подчиняясь закону и преслѣдуя нѣкоторую цѣль, но не отдавая себѣ ни въ томъ ни въ другомъ отчета. Произведеніе, о которомъ мы знаемъ и признаемъ, что оно выработалось одною дѣятельностью разсудка, мы не признаемъ за художественное произведеніе, какъ бы оно близко не подходило къ цѣли. Если мы замѣтимъ, что сознательныя размышленія содѣйствовали къ общему расположенію цѣлаго, мы найдемъ художественное произведеніе бѣднымъ. «Чувствуешь намѣреніе и разстраиваешься» (Гёте). Однако же мы требуемъ чтобы каждое художественное произведеніе было составлено разумно; это высказывается тѣмъ, что мы его подвергаемъ критическому анализу, стараемся возвысить наше наслажденіе и интересъ, слѣдя за его цѣлесообразностью, связью и равновѣсіемъ всѣхъ его отдѣльныхъ частей, шагъ за шагомъ. Мы находимъ произведеніе тѣмъ совершеннѣе, чѣмъ намъ болѣе себѣ удается уяснить гармонію и красоту отдѣльныхъ его частей; мы считаемъ главнымъ признакомъ образцоваго художественнаго произведенія тотъ, который при болѣе внимательномъ разсматриваніи

произведенія, въ которое мы все болѣе и болѣе вдумываемся, намъ постепенно открываетъ присутствіе разума въ деталяхъ. Стараясь постичь критическимъ анализомъ красоты такого произведенія, что намъ доступно только до извѣстной степени, мы высказываемъ, что допускаемъ въ немъ разумные законы, которые могутъ быть открыты сознательнымъ мышленіемъ, но знаніе которыхъ не нужно ни для творчества, ни для чувствованія прекраснаго, потому что въ непосредственномъ сужденіи человѣка, одареннаго художественно развитымъ вкусомъ, эстетически прекрасное признается тотчасъ же, безъ всякаго критическаго обдумыванія; само чувство подскажетъ что нравится и что не нравится, не заботясь о примѣненіи къ произведенію какого бы то ни было закона и понятія.

Но если наслажденіе прекраснымъ мы не понимаемъ какъ случайное, индивидуальное явленіе, а какъ согласованіе по опредѣленному закону съ природою нашего духа, то это доказывается тѣмъ, что мы требуемъ и ожидаемъ отъ всякаго другаго здраваго ума одинаковое признаваніе прекраснаго, которымъ мы наслаждается сами. Самое большое если мы допускаемъ то, что уклоненія національнаго или индивидуальнаго вкуса склоняются болѣе къ тому или другому художественному идеалу, къ которому они болѣе чувствительны; однако же нельзя отрицать того, что для достиженія болѣе глубокаго пониманія въ созерцаніи истинно художественныхъ произведеній необходима извѣстная подготовка и опытность.

Главное затрудненіе въ этой области заключается въ томъ, чтобы понять, какимъ образомъ можетъ быть воспринята закончность произведенія, не доходя до нашего сознанія, посредствомъ созерцанія. Однако же это отсутствіе сознанія законности не является какъ побочный предметъ въ дѣйствіи на нашъ духъ, которое можетъ быть или не быть, но оно имѣетъ очевидно вполнѣ существенное и выдающееся значеніе. Въ самомъ дѣлѣ, всюду гдѣ мы воспринимаемъ слѣды законности, связи и порядка, не будучи однако же въ состояніи вполнѣ обнять законность и планъ цѣлаго, художественное произведеніе въ насъ вселяетъ чувство высшаго Разума, который простирается гораздо далѣе того, что мы можемъ обнять и предѣлы котораго мы замѣтить не можемъ. Вспоминая слова поэта:

«Du gleichst dem Geist, den Du begreifst» *),

мы чувствуемъ тѣ духовныя силы, которыя работали въ художникѣ и которыя оставляютъ далеко за собою наше сознательное мышленіе,

---

*) Эти слова заимствованы авторомъ изъ *Фауста* Гёте. Желая точнѣе передать ихъ смыслъ, я позволю себѣ привести нѣсколько стиховъ изъ

потому что мы должны допустить, что намъ понадобилось бы по крайней мѣрѣ, если бы это было бы вообще возможно, безконечное время, размышленіе и трудъ для того, чтобы достигнуть посредствомъ сознательнаго мышленія той же степени порядка, связи и равновѣсія частей и всѣхъ внутреннихъ отношеній, которыя художникъ передалъ, руководимый своимъ вдохновеннымъ чувствомъ и вкусомъ, и которыя мы въ состояніи оцѣнить и постичь нашимъ собственнымъ чувствомъ и вкусомъ, далеко передъ тѣмъ, какъ мы начинаемъ анализировать художественное произведеніе критически.

Очевидно, что въ этомъ существенно заключается то высокое уваженіе, которое мы питаемъ къ художнику и его произведенію. Мы почитаемъ въ первомъ генія, искру божественной творческой силы, которая выходитъ изъ предѣловъ нашего постигающаго и сознающаго мышленія. Однако же художникъ такой же человѣкъ какъ и мы, въ немъ дѣйствуютъ тѣже духовныя силы какъ и въ насъ, но только онѣ движутся въ своемъ особомъ направленіи чище, яснѣе и въ ненарушенномъ равновѣсіи; понимая болѣе или менѣе быстро и совершенно языкъ художника, мы чувствуемъ, что имѣемъ часть этихъ силъ, которыя воспроизвели столько чудеснаго.

Въ этомъ очевидно заключается причина моральнаго возвышенія и удовлетворенія нашего душевнаго чувства, когда мы преклоняемся передъ истинно вдохновенными художественными произведеніями. Мы научаемся отъ нихъ чувствовать, что даже въ неосвѣщенной глубинѣ здраваго и гармонически развитаго человѣческаго духа, которая по крайней мѣрѣ въ настоящее время еще недоступна для анализа сознательнымъ мышленіемъ, покоится зародышъ разумнаго порядка, способнаго къ болѣе богатому развитію; мы научаемся предварительно распознавать и восхищаться въ художественномъ произведеніи картиною того порядка міра, во всѣхъ частяхъ котораго господствуетъ Законъ и Разумъ. Въ особенности же созерцаніе

перевода *Фауста* Г-на Вронченко, въ которыхъ находятся и приведенныя авторомъ слова, напечатанныя здѣсь курсивомъ:

Фаустъ.

Ты обтекающій всю область бытія,
Духъ дѣятель! тебѣ подобенъ я!

Духъ.

Подобенъ Духу, кого вполнѣ
Ты постигаешь, а не мнѣ!

истинно художественныхъ произведеній пробуждаетъ въ насъ вѣру въ здравую природу человѣческаго духа, какимъ онъ долженъ быть когда онъ не страдаетъ уныніемъ, не вялъ, не смущенъ и не разстроенъ.

Но во всѣхъ этихъ отношеніяхъ существенное условіе заключается въ томъ, чтобы законность и цѣлесообразность художественнаго произведенія не могла быть вполнѣ обнята сознательнымъ мышленіемъ. Художественное произведеніе приводитъ насъ въ восторгъ и въ восхищеніе именно тою своею частью, которая неуловима для нашего сознательнаго пониманія; отъ этого то и зависитъ могущественное дѣйствіе художественно прекраснаго, а не отъ частей, которыя мы можемъ анализировать въ совершенствѣ.

Примѣнимъ эти разсужденія къ системѣ тоновъ и гармоніи; конечно это элементы, принадлежащіе къ совершенно второстепенной и элементарной области; но они тѣмъ не менѣе медленно созрѣвшія изобрѣтенія художественнаго вкуса музыкантовъ и поэтому должны также подчиниться правиламъ художественно прекраснаго. Мы достигаемъ относительно простаго и нагляднаго разрѣшенія этого основнаго вопроса эстетики именно потому, что мы здѣсь еще находимся въ низшей области техники искусства.

Во всемъ послѣднемъ отдѣлѣ этого сочиненія выводилось, какъ музыканты постепенно дошли до сродныхъ отношеній между тонами и аккордами и какъ эти отношенія сдѣлались тѣснѣе, явственнѣе и богаче, вслѣдствіе открытія гармонической музыки. Мы были въ состояніи вывести цѣлую систему правилъ, составляющихъ ученіе генералъ баса, стараясь ввести явственно ощущаемую связь въ рядѣ тоновъ музыкальной пьесы.

Сначала развилось чувство для мелодическаго сродства слѣдующихъ другъ за другомъ тоновъ, сперва для октавы и квинты, а потомъ и для терціи. Мы старались доказать, что это чувство сродства основывалось на ощущеніи одинаковыхъ частныхъ тоновъ воспроизводимаго звука. Конечно эти частные тоны содержатся въ чувственномъ ощущеніи слуховаго нервнаго аппарата и однако же, сами по себѣ, они обыкновенно не составляютъ предмета сознательнаго воспринятія. Въ обыкновенной жизни сознательное воспринятіе ограничивается тѣмъ, что оно передаетъ намъ звукъ, въ которомъ заключаются частные тоны, какъ цѣлое, подобно тому какъ намъ передается вкусъ сложнаго блюда какъ цѣлое, не дѣлая яснымъ сколько въ немъ заключается соли, перца или другихъ пряностей и приправъ. Чтобы открыть существованіе верхнихъ тоновъ, требуется сначала критическое изслѣдованіе слуховыхъ ощущеній. Отъ этого настоящая причина мелодическаго сродства звуковъ и не была

такъ долго открыта, или по крайней мѣрѣ не достигла совершенно яснаго представленія, какъ до болѣе или менѣе ясно изложенныхъ предположеній, которыя мы напр. находимъ у Рамо и д'Аламберта. Я полагаю, что я былъ въ состояніи дать эту основу и ясно изложить всю связь. Вмѣстѣ съ этимъ, эстетическая задача снова приводится къ общей особенности всѣхъ нашихъ чувственныхъ воспринятій, благодаря которой мы схватываемъ безъ анализа агрегаты ощущеній, какъ чувственные символы простыхъ внѣшнихъ объектовъ. При ежедневномъ наблюденіи внѣшняго міра, наше вниманіе постоянно направлено на внѣшніе предметы такъ, что мы никогда не доводимъ до нашего сознанія тѣ особенности нашихъ чувственныхъ ощущеній, которыхъ мы не изучили какъ чувственное выраженіе отдѣльнаго предмета или движенія.

Довольствовавшись долгое время мелодическимъ сродствомъ звуковъ, музыканты стали пользоваться въ средніе вѣка и ихъ сродствомъ гармоническимъ, которое и проявилось въ консонансѣ. Дѣйствія различныхъ звуковыхъ сочетаній основываются опять таки на одинаковости или неодинаковости ихъ частныхъ тоновъ, частью же и комбинаціонныхъ тоновъ. Но въ то время, какъ въ мелодическомъ сродствѣ одинаковость верхнихъ тоновъ съ предшествующимъ можетъ быть возстановлена только памятью, она опредѣляется въ консонансѣ посредствомъ явленія непосредственнаго чувственнаго ощущенія, а именно дрожаніями. Слѣдовательно въ гармоническомъ звуковомъ сочетаніи сродство тоновъ выдѣляется на столько живѣе, на сколько непосредственное ощущеніе превосходитъ сохранившееся въ насъ воспоминаніе. Богатство ясно воспринимаемыхъ отношеній возростаетъ одновременно съ числомъ звучащихъ вмѣстѣ тоновъ. Дрожанія легче всего разспознать за таковыя, когда они движутся медленно; но дрожанія характеристичныя для диссонансовъ относятся почти безъ исключенія къ весьма быстрымъ, и частью покрыты другими выдерживаемыми не дрожащими тонами; поэтому старательное сравненіе медленныхъ и быстрыхъ дрожаній вело къ убѣжденію, что сущность диссонанса должна основываться на послѣднихъ. Медленныя дрожанія не даютъ впечатлѣнія диссонанса, тогда какъ быстрыя даютъ такое, за которымъ ухо слѣдовать не можетъ и ощущаетъ смутно. Слѣдовательно ухо здѣсь чувствуетъ разницу между ненарушеннымъ звуковымъ сочетаніемъ двухъ консонирующихъ тоновъ и нарушеннымъ грубымъ звуковымъ сочетаніемъ диссонанса. Но въ чемъ въ послѣднемъ случаѣ заключается нарушеніе, это для слушателя остается обыкновенно совершенно неизвѣстнымъ.

Успѣхи гармоніи дали возможность болѣе обширному развитію му-

зыкальнаго искусства, чѣмъ это было возможно прежде, потому что при болѣе явственно выраженной сродной связи тоновъ въ аккордахъ и слѣдованіяхъ аккордовъ, можно было также пользоваться болѣе отдаленными сродствами, а именно на которыхъ основываются модуляціи въ другіе *тоны*. Вслѣдствіе этого богатство средствъ выраженія возрастало съ такимъ же успѣхомъ, какъ и быстрота мелодическихъ и гармоническихъ переходовъ, которые можно было допустить, не разрывая связи.

Когда въ 15-мъ и 16-мъ столѣтіи научились распознавать самостоятельное значеніе аккордовъ, развилось и чувство какъ для ихъ взаимнаго сродства, такъ и для сродства съ тоническимъ аккордомъ совершенно на основаніи такого же закона, который уже издавна существовалъ безсознательно для сродства отдѣльныхъ звуковъ. Послѣднее основывалось на тожествѣ одного или нѣсколькихъ частныхъ тоновъ; сродство же аккордовъ основывалось на тожественности одной или нѣсколькихъ нотъ. Конечно для музыканта законъ сродства аккордовъ и *тоновъ* понятнѣе закона сродства звуковъ. Онъ легко слышитъ или видитъ одинаковые тоны, выражающіеся нотами. Слушатель же, не посвященный въ музыку, также мало себѣ отдаетъ отчета о связи яснаго и благозвучнаго ряда аккордовъ, какъ и о благозвучно связанной мелодіи. При появленіи ложнаго каданса, онъ пораженъ и чувствуетъ неожиданное, хотя онъ себѣ сознательно и не отдаетъ отчета почему именно это происходитъ.

При этомъ мы видѣли, что причина на основаніи которой аккордъ является въ музыкѣ въ качествѣ аккорда опредѣленнаго основнаго тона, основывается опять таки на разложеніи звуковъ на частные тоны, слѣдовательно опять таки на элементахъ ощущенія, о которыхъ не легко дать себѣ отчетъ при воспринятіи объектовъ. Но это соотношеніе между аккордами имѣетъ большое значеніе, какъ въ отношеніи тоническаго аккорда къ тоникѣ, такъ и въ послѣдовательномъ рядѣ аккордовъ.

Признаваніе сходства между звуками и аккордами, напоминаетъ другія совершенно подходящія наблюденія. Мы часто признаемъ сходство лицъ двухъ близкихъ родственниковъ и въ тоже время бываемъ рѣдко въ состояніи объяснить въ чемъ оно заключается; это бываетъ въ особенности тогда, когда различны возрастъ и полъ и главныя черты обоихъ лицъ преставляютъ поразительное различіе. Однако же, не смотря на это различіе и неумѣнье указать на отдѣльныя одинаковыя черты, сходство такъ поразительно и несомнѣнно, что мы въ этомъ не можемъ сомнѣваться ни одной минуты. Признаваніе сродства двухъ звуковъ происходитъ совершенно подобнымъ же образомъ.

Точно также мы часто бываемъ въ состояніи опредѣлить съ пол-

нѣйшею точностью одно еще неизвѣстное для насъ предложеніе писателя или композитора, коего мы знаемъ другія произведенія, какъ ему принадлежащее. Иногда, но однако же далеко не всегда, наше сужденіе опредѣляютъ отдѣльные способы оборотовъ рѣчи или тоновъ, но въ большинствѣ случаевъ мы не будемъ въ состояніи объяснить на чемъ основывается подобіе съ другими извѣстными произведеніями того же автора.

Аналогія между этими различными фактами идетъ еще далѣе. Если отецъ и дочь имѣютъ поразительное сходство въ наружныхъ рѣзкихъ чертахъ, напр. имѣютъ одинаковый носъ или лобъ, то мы это замѣчаемъ легко, но это насъ болѣе и не занимаетъ. Но если сходство для насъ остается загадочнымъ, такъ что мы не знаемъ въ чемъ его можно найдти сразу, то мы задѣты за живо и продолжаемъ сравнивать оба лица. Если художникъ изображаетъ такія два лица, которыя имѣютъ различный характеръ выраженія, но въ которыхъ однако же господствуетъ поразительное и неуловимое сходство, то мы это оцѣнимъ несомнѣнно какъ главную красоту изображенія. Наше удивленіе распространится не только на техническую законченность изображеній и мы въ этомъ увидимъ не только образчикъ художественнаго мастерства, но необыкновенно тонкое пониманіе значенія чертъ лица, въ чемъ художественное значеніе такого произведенія и заключается.

Подобное же происходитъ и при музыкальныхъ интервалахъ. Подобіе октавы съ ея основнымъ тономъ такъ велико и поразительно, что оно даже поражаетъ самый непривычный слухъ; октава является почти какъ чистое повтореніе основнаго тона отъ того, что она дѣйствительно повторяетъ часть звука своего основнаго тона, не прибавляя ничего лишняго. Поэтому въ эстетическомъ отношеніи октава интервалъ вполнѣ ясный, но не очень занимательный. Наиболѣе интересные интервалы какъ въ мелодическомъ, такъ и въ гармоническомъ отношеніи очевидно терціи и сексты, которыя и лежатъ на предѣлахъ ясныхъ для слуха интерваловъ. Чтобы большая терція и большая секста могли быть для уха ясными, требуется слышимости первыхъ пяти частныхъ тоновъ, которые и содержатся въ хорошихъ музыкальныхъ оттѣнкахъ звука. Малая терція и малая секста оправдываются только какъ обращенія предъидущихъ интерваловъ. Менѣе ясные интервалы гаммы не имѣютъ уже болѣе прямаго и легко понимаемаго сродства. Они и не имѣютъ болѣе той привлекательности, которою пользуются терціи.

Употребленіе діатонической гаммы, основанной на звуковомъ сродствѣ, вводитъ въ звуковой матеріалъ не одну только внѣшнюю, не имѣющую значенія, законность, какъ напр. ритмъ вноситъ подобный

же порядокъ въ слова поэзіи. Напротивъ того, какъ я уже изложилъ въ XIV главѣ, посредствомъ этого построенія гаммы дается мѣра для отстояній ея тоновъ; мы тотчасъ же ею признаемъ въ непосредственномъ ощущеніи одинаковыми два тожественныхъ интервала, лежащихъ въ различныхъ отдѣлахъ гаммы. Напр. мелодическое слѣдованіе интерваломъ квинты постоянно характеризовано тѣмъ, что второй частный тонъ втораго звука равенъ третьему перваго звука. Этимъ представляется для ощущенія опредѣленность и ясность въ измѣреніи интерваловъ, которая невозможна ни въ области столь сходной съ нею системы цвѣтовъ, ни въ измѣреніи разницы силы въ различныхъ чувственныхъ ощущеніяхъ.

На этомъ основывается характеристическое подобіе между отношеніями гаммы и отношеніями въ пространствѣ, которое, какъ мнѣ кажется, имѣетъ вполнѣ существенное значеніе для своеобразныхъ дѣйствій музыки. Существенный характеръ пространства заключается въ томъ, что въ каждой части послѣдняго одинаковыя формы тѣлъ находятъ мѣсто и могутъ совершаться одинаковыя движенія. Все что можетъ совершаться въ одной части пространства можетъ совершаться и во всякой другой и можетъ быть точно также нами воспринято. Тоже самое совершается и въ гаммѣ. Всякая мелодическая фраза, всякій аккордъ, исполняемые гдѣ нибудь въ верхней части скалы, могутъ быть воспроизведены снова въ каждомъ другомъ положеніи, такъ что мы тотчасъ же ощутимъ характеристичные признаки ихъ подобія. Съ другой стороны, различные голоса, исполняющіе подобныя или различныя мелодическія фразы, могутъ также существовать, какъ и два тѣла въ пространствѣ, другъ возлѣ друга и могутъ быть восприняты безъ взаимнаго нарушенія, а именно если они консонирующи на ударяемыхъ частяхъ такта; этимъ дано въ существенныхъ отношеніяхъ такое большое подобіе гаммы съ пространствомъ, что даже измѣненіе высоты тона, которое мы такъ часто выражаемъ движеніемъ голоса въ высь или въ глубь получаетъ легко узнаваемое и рѣзкое подобіе съ движеніемъ въ пространствѣ. Этимъ далѣе дѣлается возможнымъ и то, что музыкальное движеніе подражаетъ характеристическимъ особенностямъ движенія въ пространствѣ, свойственному дѣйствующимъ силамъ и вмѣстѣ съ тѣмъ даетъ также картину движенія, имѣющую причиною стремленіе и силу. На этомъ, какъ мнѣ кажется, основывается въ существенныхъ чертахъ ея способность выражать настроенія духа.

При этомъ я не могу исключить и того, что музыка въ своихъ началахъ и въ своихъ простѣйшихъ формахъ была прежде художественнымъ подражаніемъ инстинктивныхъ переходовъ голоса, отвѣчающимъ различнымъ настроеніямъ духа. Однако же я не полагаю

чтобы это противорѣчило вышеприведенному объясненію, такъ какъ значительная часть естественныхъ средствъ выраженія голоса сводится къ тому, что его ритмъ и акцентуація есть непосредственное выраженіе быстроты и силы, соотвѣтствующихъ психическихъ стремленій, что напряженіе голоса его тянетъ въ высоту, что стремленіе къ воспроизведенію болѣе пріятнаго впечатлѣнія заставляетъ для него выбрать болѣе мягкій, чувственно пріятный оттѣнокъ звука и т. д. Поэтому стремленіе подражать непроизвольнымъ переходамъ голоса и сдѣлать ихъ исполненіе богаче и выразительнѣе, вѣроятно повело нашихъ предшественниковъ къ открытію первыхъ музыкальныхъ средствъ выраженія, точно также какъ и подражаніе слезливому, крикливому или всхлипывающему голосу можетъ играть роль съ такимъ же успѣхомъ какъ и другія музыкальныя средства въ отдѣльныхъ мѣстахъ болѣе развитой, а именно драматической музыки, хотя названныя измѣненія такія, въ которыхъ играютъ роль не только свободное духовное стремленіе, но и чисто механическое и не произвольно являющееся сокращеніе мускуловъ. Но очевидно что каждая вполнѣ совершенная мелодія превосходитъ подражаніе природѣ, если бы даже захотѣли воспроизвести всѣ случаи самыхъ обширныхъ и страстныхъ измѣненій голоса. Вслѣдствіе того, что музыка вводитъ ступеновидное слѣдованіе въ ритмѣ и въ гаммѣ, дѣлается даже невозможнымъ приблизительно вѣрное подражаніе природѣ, такъ какъ большинство страстныхъ движеній голоса характеризуется непосредственно сливающимися переходами высоты тона. Вслѣдствіе этого подражаніе природѣ въ музыкѣ также несовершенно, какъ и подражаніе картинѣ на канвѣ, когда она воспроизведена на опредѣленныхъ квадратикахъ и опредѣленными тонами цвѣтовъ. Музыка еще болѣе отклонилась отъ природы, когда она обогатилась большимъ объемомъ, большею подвижностью, чуждыми оттѣнками звука инструментовъ, отчего поле достигаемыхъ ею музыкальныхъ эффектовъ увеличилось такъ значительно, что оно было бы немыслимо при пользованіи только человѣческимъ голосомъ.

Слѣдовательно, если по всей вѣроятности и справедливо, что человѣчество въ своемъ историческомъ развитіи научилось первымъ музыкальнымъ средствамъ выраженія, пользуясь голосомъ, то будетъ трудно отрицать, что эти же самыя средства къ выраженію мелодическаго движенія дѣйствуютъ въ художественно развитой музыкѣ совершенно независимо отъ ихъ примѣненія въ модуляціяхъ человѣческаго голоса и имѣютъ болѣе общее значеніе инстинктивнаго происхожденія звуковъ рѣчи. Справедливость сказаннаго болѣе всего доказываетъ современное развитіе чистой инструментальной музыки,

дѣйствіе и художественное значеніе которой мы отрицать не можемъ, хотя мы себѣ и не въ состояніи объяснить всѣ ея особенности.

Этимъ я оканчиваю мой трудъ. Я полагаю что онъ былъ мною развитъ въ той мѣрѣ, насколько физіологическія свойства слуховыхъ ощущеній имѣютъ непосредственное вліяніе на построеніе музыкальной системы и насколько онъ долженъ былъ входить въ кругозоръ естествоиспытателя. Если при этомъ естественнонаучные вопросы и соприкасались съ эстетическими, то послѣдніе были относительно просты, тогда какъ первые были во всякомъ случаѣ сложнѣе. Это отношеніе вопросовъ необходимо было бы сдѣлать обратнымъ, если бы пожелали глубже изслѣдовать эстетику музыки и перейдти къ ученію о ритмѣ, о формахъ композиціи, о средствахъ музыкальнаго выраженія. Во всѣхъ этихъ областяхъ, свойства чувственнаго ощущенія будутъ опять таки имѣть еще вліяніе, но только совершенно второстепенное. Главное затрудненіе будетъ здѣсь заключаться въ развитіи психическихъ мотивовъ, которые имѣютъ здѣсь значеніе. Здѣсь конечно начинается самая интересная часть музыкальной эстетики; здѣсь дѣло идетъ о томъ, чтобы объяснить прелесть великихъ художественныхъ произведеній и научиться постигать внутреннія и внѣшнія движенія, вызываемыя различными настроеніями духа. Но какъ бы ни была заманчива цѣль, я предпочитаю оставить эти изслѣдованія другимъ, чувствуя себя въ этой отрасли только дилетантомъ и предпочитаю остаться на почвѣ естественной науки, къ которой я привыкъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ I.

Электромагнитный двигатель для сирены.

Къ стр. 20.

Я недавно построилъ маленькую электромагнитную машину постоянной скорости вращенія, которая оказалась весьма годною для приведенія въ движеніе сирены. Вращающійся электромагнитъ, въ которомъ направленіе тока мѣняется при каждомъ полуоборотѣ, движется между двумя неподвижными магнитными полюсами. Въ этомъ электромагнитѣ, какъ только скорость вращенія превосходитъ желанный предѣлъ, токъ прерывается центробѣжною силою тяжести, приспособленною для этого на оси вращенія. Двѣ спиральныя пружинки, упругость которыхъ противодѣйствуетъ центробѣжной силѣ, могутъ быть напряжены болѣе или менѣе по нашему желанію. Чрезъ это скорость вращенія можетъ быть достигнута въ какомъ угодно размѣрѣ. Изображеніе и описаніе этой машины помѣщено г. Экснеромъ (S. Exner) въ отчетахъ Вѣнской Академіи; Math. Naturw. Cl. LVIII, Bd. II, Abth. 1868. 8. Oct.

Сирена соединяется съ машиною тонкимъ шнуркомъ, при чемъ нѣтъ надобности въ нее вдувать; я приспособилъ къ кружку маленькую, изготовленную изъ папки турбину, которая вгоняла воздухъ чрезъ отверстія кружка каждый разъ, какъ они совпадали съ отверстіями коробки. Я получилъ этимъ способомъ чрезвычайно неизмѣнные тоны сирены, которые могли соперничать съ тонами наилучшимъ образомъ изготовленныхъ органныхъ трубокъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ II.

Размѣры и изготовленіе резонаторовъ.

Къ стр. 66.

Резонаторы шаровидной формы съ короткимъ воронкообразнымъ выступомъ (фиг. 16 *a* стр. 65) дѣйствуютъ наилучшимъ образомъ. Преимущество этихъ резонаторовъ заключается частью въ томъ, что ихъ другіе собственные тоны чрезвычайно отдалены отъ основнаго тона и только немного усилены, частью же въ томъ, что шаровидная форма дастъ самый сильный резонансъ. Стѣнки же шара должны быть твердыми и гладкими, чтобы имѣть возможность противопоставить должное сопротивленіе самымъ сильнымъ колебаніямъ воздуха внутри шара и чтобы, насколько это возможно, не нарушать треніемъ движенія воздуха. Сначала я пользо-

вался такими шаровидными сосудами, которые мнѣ попадались подъ руку, напр. колбами, къ одному изъ отверстій которыхъ я приспособлялъ стеклянную трубочку, вставляемую въ ухо. Впослѣдствіи изготовитель акустическихъ приборовъ г. Кёнигъ (R. Kœnig, Paris, 30, rue Hautefeuille) изготовилъ для меня рядъ шаровъ опредѣленной настройки. Я даю здѣсь табличку размѣровъ нѣкоторыхъ изъ нихъ.

Высота тона.	Діаметръ шара въ миллиметрахъ.	Діаметръ отверстія въ миллиметрахъ.	Объемъ полости въ кубическихъ сантиметрахъ.	Замѣчанія.
1) *g*	154	35,5	1773	Выступъ воронкообразный.
2) *b*	131	28,5	1092	
3) *c'*	130	30,2	1053	
4) *e'*	115	30	546	
5) *g'*	79	18,5	235	
6) *b'*	76	22	214	
7) *c''*	70	20,5	162	
8) *b'*	53,5	8	74	Выступъ цилиндрическій.
9) *b''*	46	15	49	Тоже; отверстіе косвенное.
10) *d'''*	43	15	37	Выступъ цилиндрическій.

Меньшіе шары я не нашелъ удобопримѣнимыми. Недавно были изготовлены г. Кёнигомъ въ Парижѣ металлическіе резонаторы формы фиг. 16 *a*. Я разбилъ два стеклянныхъ шара, настройки между *c'* и *b'*. Я старался ихъ замѣнить стеклянными трубками, подобными изображенной на фиг. 16 *b*. Размѣры этихъ трубокъ были слѣдующіе:

Nro.	Высота тона.	Длина въ миллиметрахъ.	Ширина въ миллиметрахъ.	Объемъ въ кубическихъ сантиметрахъ.	Замѣчанія.
1	*d''*	133	25	56	Полузакрыта.
2	*f''*	123	21	30	Тоже.
3	*ges''*	114	24	50	Тоже.
4	*as''*	125	20	39	Открыта.

Для совершенно низкихъ тоновъ я употреблялъ папковыя трубки, одна оконечность которыхъ была круглая, тогда какъ другая была снабжена стеклянною трубочкою, вставляемою въ слуховой проходъ. Я пользовался двумя такими трубками, имѣвшими слѣдующіе размѣры:

Nro.	ВЫСОТА ТОНА.	ДЛИНА ТРУБКИ.	ШИРИНА ТРУБКИ.	ШИРИНА ОТВЕРСТІЯ.
5	*B*	690	96	73
6	*des*	480	60	23

При резонаторахъ, имѣющихъ форму трубки, можетъ также замѣтно проявиться второй собственный тонъ, отвѣчающій приблизительно дуодецимѣ его основнаго тона.

Легко исправляются и въ большинствѣ случаевъ также удобопримѣнимы коническія цинковыя трубки, присланныя мнѣ г. Аппуномъ (Appun in Hanau). Послѣднія одновременно усиливаютъ и всѣ верхніе гармоническіе тоны ихъ основнаго тона.

Резонаторы, имѣющіе весьма узкое отверстіе, даютъ вообще гораздо большее усиленіе тона, но при этомъ необходимо болѣе точное согласованіе наблюдаемаго тона съ собственнымъ тономъ резонатора. Это тождественно наблюденію микроскопомъ; чѣмъ увеличеніе сильнѣе, тѣмъ поле зрѣнія меньше. Резонаторъ понижаютъ съуженіемъ отверстія; это и есть легчайшее средство для того, чтобы его довести до требуемой высоты тона. Но, какъ это видно изъ приведеннаго факта, отверстіе слишкомъ съуживать не слѣдуетъ.

Здѣсь слѣдуетъ еще упомянуть о способѣ, изобрѣтенномъ г. Кёнигомъ, посредствомъ котораго колебанія воздуха могутъ передаваться воспламененному газу и быть чрезъ это видимыми. Такое пламя можетъ быть весьма удобно приспособлено къ резонатору, въ особенности же къ такому, который имѣетъ форму шара и два одинаковой ширины отверстія. Къ одному изъ отверстій примыкаетъ маленькая газовая камера. Эта камера представляетъ маленькую полость приблизительно такой величины, что въ ней могутъ быть положены двѣ франковыя монеты одна на другую; камера вдѣлана въ деревянный кругъ, а со стороны резонатора замкнута весьма тонкою каучуковою перепонкою, которая хотя и вполнѣ отдѣляетъ воздухъ резонатора отъ газа, но однако же допускаетъ безпрепятственно дѣйствовать сотрясеніямъ перваго на послѣдній. Сквозь деревянный кругъ пропущены въ камеру двѣ узенькія трубочки изъ коихъ одна въ нее проводитъ освѣтительный газъ, а другая его выпускаетъ. Послѣдняя съуживается у своей оконечности выходящей внаружу; здѣсь и зажигаютъ газъ. Какъ только воздушная масса резонатора приведется въ колебанія, начинаетъ колебаться и пламя, попеременно удлинняясь и укорачиваясь. Конечно эти колебанія пламени происходятъ такъ быстро и правильно, что наблюдая его непосредственно оно кажется совершенно спокойнымъ. Однако же можно узнать его измѣняющееся состояніе по его формѣ и цвѣту. Напр. для того чтобы распознать дрожанія двухъ тоновъ, отдающихся въ резонаторѣ, достаточно уже непосредственнаго взгляда на пламя, потому что оно мѣняется между своею спокойною и колеблющеюся формою.

Если желаютъ видѣть отдѣльныя колебанія, то пламя слѣдуетъ наблюдать въ вращающемся зеркалѣ, въ которомъ оно отражаетъ, когда не колеблется, свое изображеніе правильно удлиненнымъ; когда же оно напротивъ колеблется, то получается рядъ отдѣльныхъ изображеній. Такимъ

образомъ множество зрителей могутъ одновременно узнать возбужденъ ли въ резонаторѣ изданный тонъ или нѣтъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ III.

Движеніе струнъ, возбужденныхъ бряцаніемъ.

Къ стр. 79.

Пусть x будетъ разстояніемъ произвольной точки струны отъ одного изъ ея концовъ; l, — длиною струны; въ этомъ случаѣ для одной ея конечной точки $x=0$, а для другой $x=l$. Достаточно будетъ разсмотрѣть только тотъ случай, когда струна колеблется въ одной плоскости, проходящей чрезъ ея положеніе равновѣсія. Пусть y будетъ разстояніемъ точки x отъ ея положенія равновѣсія во время t; пусть далѣе μ будетъ вѣсомъ единицы длины, а S напряженіемъ струны; тогда условія ея движенія выразятся слѣдующимъ уравненіемъ

$$\mu \frac{d^2 y}{dt^2} = S \frac{d^2 y}{d^2 x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1),$$

а такъ какъ концы струны принимаются за неподвижные, то

$$y = 0,$$
$$\text{если } x = 0, \text{ или } x = l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1\,a).$$

Общій интегралъ уравненія (1), удовлетворяющій условіямъ (1 a) и соотвѣтствующій періодическому движенію струны, будетъ слѣдующій:

$$\left.\begin{aligned} y = {} & A_1 \sin\frac{\pi x}{l}\cos 2\pi n t + A_2 \sin\frac{2\pi x}{l}\cos 4\pi n t \\ & + A_3 \sin\frac{3\pi x}{l}\cos 6\pi n t + \text{и т. д.} \\ & + B_1 \sin\frac{\pi x}{l}\sin 2\pi n t + B_2 \sin\frac{2\pi x}{l}\sin 4\pi n t \\ & + B_3 \sin\frac{2\pi x}{l}\sin 6\pi n t + \text{и т. д.} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (1\,b)$$

въ которомъ

$$n^2 = \frac{S}{4\mu l^2}.$$

а $A_1, A_2, A_3, \ldots$, равно какъ и B_1, B_2, B_3 и т. д. суть произвольные постоянные коэфиценты. Величина ихъ можетъ быть опредѣлена, когда будутъ извѣстны форма и скорость струны для опредѣленной величины t.

Для времени $t=0$, форма струны будетъ слѣдующею:

$$y = A_1 \sin\frac{\pi x}{l} + A_2 \sin\frac{2\pi x}{l} + A_3 \sin\frac{3\pi x}{l} + \text{и т. д.} \ldots\ldots (1\,c)$$

а ея скорость

$$\frac{dy}{dt} = 2\pi n \left\{ B_1 \sin\frac{\pi x}{l} + 2 B_2 \sin\frac{2\pi x}{l} + 3 B_3 \sin\frac{3\pi x}{l} + \text{и т. д.} \right\}. \quad (1\,d).$$

Теперь представимъ себѣ, что струна, отклонена въ сторону остроконечнымъ штифтомъ и что въ тотъ моментъ, когда его отняли во время $t=0$, начались колебанія; тогда во время $t=0$ струна не имѣетъ скорости и $\frac{dy}{dt}=0$ для каждой величины x; это можетъ быть только въ томъ случаѣ если въ уравненіи (1 d)

$$0=B_1=B_2=B_3 \text{ и т. д.}$$

Коэфиціенты A зависятъ отъ вида струны во время $t=0$. Въ тотъ моментъ, когда штифтъ освобождаетъ струну, она должна имѣть форму, изображенную на стр. 82 фиг. 18 Aa, т. е. двухъ прямыхъ линій, проведенныхъ отъ оконечности штифта къ обѣимъ точкамъ прикрѣпленія струны. Если мы соотвѣтственно назовемъ чрезъ a и b значенія x и y для точки струны, захваченной штифтомъ, то такъ какъ значенія y, во время $t=0$, были:

при $a > x > 0$

$$y=\frac{bx}{a} \quad \ldots\ldots (2)$$

при $l > x > a$

$$y=b\frac{l-x}{l-a} \quad \ldots\ldots (2\,a),$$

то и значенія y выведенныя изъ выраженій (1 c) и (2) или же (2 a) должны быть тожественными.

Для того чтобы найти коэфиціентъ A_m, то какъ извѣстно слѣдуетъ умножить обѣ части уравненія (1 c) на $\sin\frac{m\pi x}{l}dx$ и интегрировать ихъ отъ $x=0$ до $x=l$. Тогда уравненіе (1 c) преобразуется въ

$$A_m\int_0^l \sin^2\frac{m\pi x}{l}\,dx=\int_0^l y\sin\frac{m\pi x}{l}\,dx \quad \ldots\ldots (2\,b)$$

въ которомъ слѣдуетъ вставить значенія y изъ (2) и (2 a). Если въ (2 b) интегрированія исполнены, то получается:

$$A_m=\frac{2bl^2}{m^2\pi^2a(l-a)}\sin\frac{m\pi a}{l} \quad \ldots\ldots (3).$$

Слѣдовательно A_m, дѣлается равнымъ нулю, а вмѣстѣ съ тѣмъ уничтожается и m-вый тонъ струны, когда

$$\sin\frac{m\pi a}{l}=0,$$

т. е. когда $a=\frac{l}{m}$, или $=\frac{2l}{m}$, или $=\frac{3l}{m}$ и т. д. Слѣдовательно если себѣ представить струну раздѣленною на m равныхъ частей и ударенною въ одну изъ точекъ дѣленій, то уничтожится m-вый тонъ, узловыя точки котораго совпадаютъ съ упомянутыми точками дѣленій.

Каждая узловая точка m-го тона, есть также и узловая точка $2m$-го, $3m$-го и т. д. тоновъ; слѣдовательно съ исчезновеніемъ перваго исчезаютъ одновременно и послѣдніе.

Можно, какъ извѣстно, выразить интегралъ уравненія (1) также и въ такомъ видѣ:

$$y=\varphi_{(x-at)}+\psi_{(x+at)} \quad \ldots\ldots (4)$$

гдѣ $a^2=\frac{S}{\mu}$, а φ и ψ суть произвольныя функціи. Функція $\varphi_{(x-at)}$ оз-

начаетъ произвольный видъ струны, перемѣщающейся со скоростью a, но однако безъ измѣненія, по направленію положительнаго x; функція $\psi_{(x+at)}$ означаетъ видъ такой же струны, перемѣщающейся съ одинаковою скоростью по направленію отрицательнаго x.

Для опредѣленной величины времени, обѣ функціи нужно себѣ представить данными въ предѣлахъ отъ $x=-\infty$ до $x=+\infty$, тогда будетъ опредѣлено и движеніе струны.

Задача наша, состоящая въ опредѣленіи движенія дернутыхъ струнъ, будетъ рѣшена изъ этого втораго выраженія въ томъ случаѣ, если мы будемъ въ состояніи опредѣлить функціи φ и ψ такимъ образомъ, чтобы

1) для значеній $x=0$ и $x=l$, значеніе y было постоянно равно нулю, при всякой величинѣ времени t. Это будетъ въ томъ случаѣ если при всякой величинѣ t

$$\varphi_{(-at)}=-\psi_{(+at)} \quad \ldots\ldots (4\,a)$$

$$\varphi_{(l-at)}=-\psi_{(l+at)} \quad \ldots\ldots (4\,b).$$

Если вставимъ въ первомъ уравненіи $at=-v$, а во второмъ $l+at=-v$, то получимъ

$$\varphi_v=-\psi_{(-v)}$$

$$\varphi_{(2l+v)}=-\psi_{(-v)}$$

слѣдовательно

$$\varphi_{(2l+v)}=\varphi_v \quad \ldots\ldots (5).$$

И такъ функція φ періодическая; какъ только ея аргументъ измѣняется на $2l$, она снова получаетъ ту же величину. Тоже самое относится и къ ψ.

2) При $t=0$, должно быть и $\frac{dy}{dt}=0$ въ предѣлахъ отъ $x=0$ до $x=l$. Изъ этого слѣдуетъ,что если мы обозначимъ $\frac{d\psi_v}{dv}$ чрезъ ψ', сдѣлавъ выраженіе $\frac{dy}{dt}$ изъ уравненія(4) равнымъ нулю, то

$$\varphi'_{(x)}=\psi'_{(x)}.$$

Если мы это проинтегрируемъ по x, то

$$\varphi_{(x)}=\psi_{(x)}+C$$

Такъ какъ ни y, ни $\frac{dy}{dt}$ не измѣняются, если мы придадимъ то же постоянное къ φ и отнимемъ отъ ψ, то постоянное C совершенно произвольно и мы можемъ его положить равнымъ нулю, слѣдовательно написать

$$\varphi_{(x)}=\psi_{(x)} \quad \ldots\ldots (5\,a)$$

3) Такъ какъ наконецъ, для времени $t=0$, въ предѣлахъ отъ $x=0$ до $x=l$, величина

$$y=\varphi_{(x)}+\psi_{(x)}=2\varphi_{(x)}$$

должна имѣть значеніе, изображенное на фиг. 18 A, то ординаты этой фигуры даютъ точно также величину $2\varphi_{(x)}$ и $2\psi_{(x)}$ сообразно уравненія (5):

отъ $x=0$ до $x=l$
отъ $x=2l$ до $x=3l$
отъ $x=4l$ до $x=5l$
и т. д.

Такъ какъ однако, изъ (4 a), (4 b) и (5) слѣдуетъ, что $\varphi_{(-v)}=-\varphi_{(v)}$ и

$\varphi_{(l-v)} = -\varphi_{(l+v)}$ то величина $2\varphi_{(x)}$ дана кривою фиг. 18 *G*, въ предѣлахъ

отъ $x = -\ l$ до $x = 0$
отъ $x = -3l$ до $x = -2l$
а также отъ $x = \ l$ до $x = \ 2l$
отъ $x = \ 3l$ до $x = \ 4l$
и т. д.

Такимъ образомъ функціи φ и ψ вполнѣ опредѣлены, и если заставить перемѣститься, въ противоположныя стороны, со скоростью a, выражаемыя ими волнообразныя линіи, то получаются формы струны, изображенныя на фиг. 18 и представляющія измѣненія вида струны послѣ каждой одной двѣнадцатой ея продолжительности колебанія.

ПРИЛОЖЕНІЕ IV.

Усиленіе простыхъ тоновъ посредствомъ резонанса.

Къ стр. 84 и 106.

Теорія резонанса наполненныхъ воздухомъ трубокъ, а также и полостей, была мною дана, насколько она можетъ быть въ настоящее время выражена математически, въ моей статьѣ: «Теорія воздушныхъ колебаній въ трубкахъ, съ открытыми концами», помѣщенной въ Математическомъ Журналѣ Крелля, Томъ LVII. Сличеніе верхнихъ тоновъ камертоновъ и относящихся сюда усиливающихъ трубокъ находится въ моей статьѣ: «О комбинаціонныхъ тонахъ» помѣщенной въ Poggendorff's Annalen' стр. 509 и 510. T. XCIX.

Я здѣсь сейчасъ же приложу размѣры, упомянутыхъ на стр. 83 усиливающихъ трубокъ, которыя были для меня изготовлены г-мъ Фессслемъ въ Кёльнѣ, въ связи съ камертонами, приводимыми электромагнитически въ движеніе, и которые намъ предстоитъ описать впослѣдствіи. Это были цилиндрическія трубки изъ папки; поверхности основаній цилиндра были сдѣланы изъ жестяныхъ листовъ; одно изъ основаній было совершенно закрытое, другое же имѣло круглое отверстіе. Слѣдовательно эти трубки имѣли только одно отверстіе, а не два, какъ у резонаторовъ, которые предназначены для того, чтобы прикладывать ихъ къ уху. Съуживая отверстіе подобнаго рода готовой усиливающей трубки, можно ее понизить. Для того чтобы, когда это было необходимо, ее повысить, я вносе бросалъ немного воску, ставилъ непросверленную ея площадь основанія на теплую печь и держалъ ее на ней до тѣхъ поръ, пока воскъ не расплавлялся и не распространялся равномѣрно по дну; тогда ему даютъ время охладиться при томъ же положеніи трубки. Для того чтобы узнать выше ли или ниже трубка относительно своего камертона, закрываютъ немного ея отверстіе въ то время, какъ передъ нимъ находится колеблющійся камертонъ. Если, вслѣдствіе этого закрыванія, резонансъ дѣлается сильнѣе, то трубка настроена слишкомъ высоко. Если же, въ то время когда начинаютъ закрывать отверстіе, резонансъ весьма явственно ослабляется, то трубка настроена слишкомъ низко.

Размѣры въ миллиметрахъ, слѣдующіе:

Nro.	Высота тона.	Длина трубки.	Діаметръ трубки.	Діаметръ отверстія.
1	*B*	425	138	31,5
2	*b*	210	82	23,5
3	*f*	117	65	16
4	*b'*	88	55	14,3
5	*d''*	58	55	14
6	*f'*	53	44	12,5
7	*as''*	50	39	11,2
8	*b''*	40	39	11,5
9	*d'''*	35	30,5	10,3
10	*f'''*	26	26	8,5.

Теорія соколебанія струнъ выводится лучше всего изъ опыта, описаннаго на стр. 83. Мы сохранимъ здѣсь обозначенія, принятыя въ приложеніи III, и допустимъ, что конецъ струны, для котораго $x = 0$, находится въ сообщеніи съ основаніемъ камертона и долженъ вмѣстѣ съ нимъ совершать его движеніе, которое дано уравненіемъ:

$$y = A \sin mt \text{ для } x = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (6).$$

Пусть другой конецъ упирается на подставку, покоющуюся на резонансовой доскѣ. На подставку дѣйствуютъ слѣдующія силы:

1) Давленіе струны, которое сообразно углу подъ которымъ направленъ ея конецъ къ подставкѣ, то увеличивается, то уменьшается. Тангенсъ угла, заключающагося между измѣняющимся направленіемъ струны и между ея положеніемъ равновѣсія, будетъ $\frac{dy}{dx}$ и мы можемъ вслѣдствіе этого обозначить перемѣнную часть давленія чрезъ

$$-S\frac{dy}{dx}$$

для значенія $x = l$, если подставка находится на сторонѣ отрицательныхъ y-овъ.

2) Сила упругости резонансовой доски, стремящаяся привести подставку въ ея положеніе равновѣсія, и которая можетъ быть нами обозначена равною $-f^2y$.

3) Резонансовая доска движущаяся вмѣстѣ съ подставкою, претерпѣваетъ сопротивленіе воздуха, которому она передаетъ часть своего движенія; мы можемъ приблизительно обозначить сопротивленіе воздуха пропорціональнымъ его скорости движенія, слѣдовательно равнымъ $-g^2\frac{dy}{dt}$.

И такъ, для движенія подставки, коей масса M и для соотвѣтствующаго движенія, опирающейся на немъ оконечности струны

$$M\frac{d^2y}{dt^2} = -S\frac{dy}{dx} - f^2y - g^2\frac{dy}{dt} \text{ при } x = l. \ldots\ldots (6\text{ a}).$$

Для движенія остальныхъ точекъ струны мы имѣемъ, какъ въ приложеніи III, условія:

$$\mu\frac{d^2y}{dt^2} = S\frac{d^2y}{dx^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Такъ какъ каждое движеніе подобной струны постоянно передается частями воздуху усиливающаго звукъ ящика, то оно должно прекратиться, если не будетъ постоянно поддерживаемо непрекращающеюся какою либо причиною. Слѣдовательно мы можемъ независимо отъ первоначальнаго перемѣннаго состоянія движенія, сейчасъ же искать то періодическое движеніе, которое окончательно установливается подъ вліяніемъ періодическаго сотрясенія одного изъ концовъ струны посредствомъ камертона. Очевидно, что періодъ движенія струны долженъ равняться періоду ея колебанія. Интегралъ уравненія (1), который мы ищемъ, долженъ слѣдовательно имѣть видъ:

$$\left.\begin{aligned} y = D\,\cos\,(p\,x)\,\sin\,(m\,t) + E\,\cos\,(p\,x)\,\cos\,(m\,t) \\ + F\,\sin\,(p\,x)\,\sin\,(m\,t) + G\,\sin\,(p\,x)\,\cos\,(m\,t) \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (7).$$

Для того чтобы удовлетворить уравненію (1) необходимо чтобы

$$\mu\,m^2 = S p^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (7\,a).$$

Изъ уравненія (7), при $x = 0$, получается слѣдующее значеніе для y:

$$y = D\,\sin\,(m\,t) + E\,\cos\,(m\,t):$$

сравненіемъ съ уравненіемъ (6), мы отсюда получаемъ

$$D = A,\ E = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Оба коэфиціента уравненія (7), именно F и G, должны быть опредѣлены посредствомъ уравненія (6 a). Это послѣднее, замѣною значенія y изъ (7), распадается на два уравненія, такъ какъ сумму членовъ умноженныхъ на $\sin\,(m\,t)$, равно какъ и сумму членовъ, умноженныхъ на $\cos\,(m\,t)$, слѣдуетъ само по себѣ сдѣлать равною нулю. Оба эти уравненія суть слѣдующія:

$$\left.\begin{aligned} F\,[(f^2 - M m^2)\,\sin\,p\,l + p\,S\,\cos\,p\,l] - G\,m\,g^2\,\sin\,p\,l \\ = - A\,[(f^2 - M m^2)\,\cos\,p\,l - p\,S\,\sin\,p\,l] \\ F\,m\,g^2\,\sin p\,l + G\,[(f^2 - M m^2)\sin p\,l + p\,S\,\cos p\,l] = - A\,g^2\,m\,\cos p\,l \end{aligned}\right\}. (8\,a)$$

Если обозначимъ для сокращенія

$$\left.\begin{aligned} \frac{p\,S}{f^2 - M m^2} = tang\ k \\ (f^2 - M m^2)^2 + p^2 S^2 = C^2 \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots (8\,b)$$

то получимъ значенія F и G, какъ слѣдуетъ ниже:

$$\left.\begin{aligned} F = -\frac{A}{2}\cdot\frac{C^2\,\sin 2\,(p\,l + k) + g^4\,m^2\,\sin 2\,(p\,l)}{C^2\,\sin^2\,(p\,l + k) + g^4\,m^2\,\sin^2\,(p\,l)} \\ G = - A\cdot\frac{C\,m\,g^2\,\sin k}{C^2\,\sin^2\,(p\,l + k) + m^2\,g^4\,\sin^2\,(p\,l)} \end{aligned}\right\} \ldots\ldots (8\,c)$$

Если обозначить чрезъ I амплитуду той конечной точки струны, которая лежитъ на подставкѣ и приводитъ въ сотрясеніе резонансовую доску, то изъ уравненія (7)

$$I^2 [\,F \sin\,(p\,l) + A\,\cos\,(p\,l)]^2 + G^2\,\sin^2\,(p\,l),$$

а если вставить величины F и G изъ (8c) то получимъ

$$I = \frac{A\,C\,\sin\,k}{\sqrt{C^2\,\sin^2 (pl + k) + m^2 g^4\,\sin^2 (pl)}} \ldots\ldots\ldots (9)$$

Числитель этого выраженія не зависитъ отъ длины струны. Если длину эту измѣняютъ, то можетъ измѣняться только знаменатель. Здѣсь подъ радикаломъ находится сумма двухъ квадратовъ, которая не можетъ обратиться въ нуль, такъ какъ величины m, g, p и S, а поэтому и k, не могутъ сдѣлаться равными нулю. Коэфиціентъ сопротивленія воздуха g, можно во всякомъ случаѣ разсматривать какъ безконечно малую величину. Слѣдовательно знаменатель достигаетъ своей наименьшей, а I своей наибольшей величины, когда

$$\sin\,(pl + k) = 0$$

или когда

$$pl = a\,\pi - k \ldots\ldots\ldots\ldots (9a)$$

гдѣ a произвольное цѣлое число. Величина maximum I будетъ:

$$I_M = \frac{A\,C}{mg^2}.$$

Слѣдовательно при другихъ одинаковыхъ условіяхъ, она тѣмъ больше, чѣмъ меньше g, коэфиціентъ сопротивленія воздуха, и чѣмъ больше C. Для того чтобы усмотрѣть отъ какихъ условій зависитъ величина C, мы вставимъ величину p^2 изъ уравненія (7a) во второе уравненіе (8b), въ которомъ опредѣлено значеніе C, и кромѣ того положимъ

$$n^2 = \frac{f^2}{M},$$

тогда будетъ

$$C^2 = M^2\,(n^2 - m^2)^2 + S\mu m^2.$$

Величина n означаетъ число колебаній, которыя бы совершила, въ 2π секундъ, подставка подъ однимъ только вліяніемъ упругой резонансовой доски, если-бы не было струны и сопротивленія воздуха; m означаетъ тоже число колебаній для камертона. Такимъ образомъ мы можемъ теперь изобразить величину maximum I:

$$I_M = \frac{A}{g^2}\sqrt{M^2\,\left\{1 - \frac{n^2}{m^2}\right\}^2 + S\,\mu},$$

гдѣ все приведено къ силамъ M, S, μ и къ величинѣ интервала $1 - \frac{n}{m}$.

Если $m > n$, что вообще и будетъ имѣть мѣсто, то выгодно сдѣлать вѣсъ подставки M довольно большимъ. Поэтому я ее изготовлялъ изъ латуни. Когда M очень велико, то k, [по (8b)] становится очень малымъ, и тогда изъ уравненія (9a) оказывается, что различные тоны наименьшаго резонанса все болѣе приближаются къ тѣмъ величинамъ, которыя соотвѣтствуютъ ряду простыхъ цѣлыхъ чиселъ. Чѣмъ тяжелѣе подставка, тѣмъ струна опредѣляется лучше. Данныя здѣсь правила, относительно вліянія подставки, примѣняются непосредственно только для приведеннаго способа сотрясенія струны посредствомъ камертона, но не для другихъ способовъ ея возбужденія.

ПРИЛОЖЕНІЕ V.

Форма колебаній фортепіанныхъ струнъ.

Къ стр. 114 до 122.

Если натянутая струна ударяется совершенно твердымъ и тонкимъ металлическимъ штифтомъ, который мгновенно-же отъ нея отпрыгиваетъ,

то толчекъ передастъ извѣстную скорость пораженному мѣсту въ то время, какъ остальная часть струны находится еще въ покоѣ. Если мы положимъ для момента времени толчка $t=0$, то движеніе струны можно опредѣлить тѣмъ условіемъ, что въ мгновеніе удара струна находится еще въ ея положеніи равновѣсія и только ея пораженная точка имѣетъ нѣкоторую скорость. Слѣдовательно въ уравненіяхъ (1 c) и (1 d) Прил. III, мы можемъ положить $t=0$, а также и $y=0$ и $\frac{dy}{dt}=0$, исключая изъ послѣдняго уравненія поражаемую точку, координата которой пусть будетъ a.

Изъ этого слѣдуетъ что

$$0=A_1=A_2=A_3 \text{ и т. д.}$$

и что значенія величины B будутъ найдены подобнымъ же интегрированіемъ, какъ и (2 b):

$$2\pi n m B_m \int_0^l \sin^2 \frac{m\pi x}{l}\, dx = \int_0^l \frac{dy}{dt} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l}\, dx$$

$$\pi n m l B_m = c \sin \frac{m\pi a}{l},$$

гдѣ c означаетъ произведеніе скорости ударенной части на ея безконечно малую длину. Слѣдовательно

$$y=\frac{c}{\pi n l}\Big(\frac{\sin \pi a}{l}\frac{\sin \pi x}{l}\sin 2\pi n t+\frac{1}{2}\frac{\sin 2\pi a}{l}\sin\frac{2\pi x}{l}\sin 4\pi n t$$
$$+\frac{1}{3}\sin\frac{3\pi a}{l}\sin\frac{3\pi x}{l}\sin 6\pi n t \text{ и т. д.}\Big)$$

$$B_m=\frac{c}{\pi n l m}\sin\frac{m\pi a}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10).$$

Слѣдовательно m-й верхній тонъ струны исчезаетъ и здѣсь, какъ только ударятъ струну въ одну изъ его узловыхъ точекъ. Впрочемъ по отношенію къ основному тону, верхніе тоны выдѣляются здѣсь сравнительно еще сильнѣе чѣмъ при дерганіи струны, потому что въ уравненіи (3) величина A_m раздѣлена на m^2, величина же B_m въ уравненіи (10) только на m. Впрочемъ это сейчасъ же обнаруживается на опытѣ, когда струны ударяютъ остроконечнымъ краемъ маленькаго металлическаго прута.

Прерывность движенія фортепіанныхъ струнъ уменьшается тѣмъ, что молоточки обтянуты упругими подушками. Такъ какъ движеніе теперь сообщается уже не одной отдѣльной точкѣ, но болѣе широкой части струны и не въ недѣлимый моментъ, какъ это бы случилось при ударѣ твердымъ тѣломъ, то этимъ замѣтно ослабляются высшіе верхніе тоны. Упругая подушка скорѣе уступаетъ первому толчку и сплющивается, такъ что въ то время, когда молотокъ прилегаетъ къ струнѣ, движеніе можетъ уже распространиться на нѣкоторое протяженіе этой послѣдней. Точный анализъ движенія струны послѣ удара фортепіаннаго молотка былъ бы довольно сложный. Но если мы примемъ во вниманіе, что струны перемѣщаются относительно мало, тогда какъ мягкая упругая подушка весьма податлива и можетъ быть значительно сжата, то для математическаго анализа можно себѣ позволить упрощеніе, полагая давленіе молотка, которое онъ производитъ на струну во время толчка, такой же величины, какимъ бы оно было, если бы онъ ударялъ на совершенно твердое и вполнѣ не поддающееся тѣло. Сообразно съ этимъ мы полагаемъ давленіе молотка равнымъ

$$F=A\sin m t$$

для тѣхъ значеній времени, для которыхъ $0 < t < \frac{\pi}{m}$. Послѣдняя вели-

чина $\frac{\pi}{m}$ есть длительность времени, въ продолженіе котораго молотокъ прилегаетъ къ струнѣ. Послѣ этого онъ снова отскакиваетъ и допускаетъ свободное колебаніе струны. Величина m должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше сила упругости молотка и чѣмъ незначительнѣе его тяжесть.

И такъ мы должны теперь опредѣлить движеніе струны въ тотъ промежутокъ времени, въ который молотокъ къ ней прилегаетъ отъ $t=0$ до $t=\frac{\pi}{m}$. Въ продолженіи этого времени, струна раздѣляется прилегающимъ молоткомъ на двѣ части, движеніе которыхъ должно быть опредѣлено въ отдѣльности. Значеніе x для мѣста удара пусть будетъ x_0. Значеніе y для тѣхъ частей струны, въ которыхъ $x<x_0$, мы обозначаемъ чрезъ y_1, а гдѣ $x>x_0$, черезъ y^1. Въ самой ударенной точкѣ давленіе струны на молотокъ должно равняться давленію F, производимому послѣднимъ. Давленіе струны можетъ быть вычислено какъ въ уравненіи (6a) прилож. IV и тогда мы получимъ уравненіе

$$F=A\sin m t = S\Big(\frac{d y_1}{d x}-\frac{d y^1}{d x}\Big) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11).$$

Отъ удареннаго мѣста исходятъ волны въ обѣ стороны. Слѣдовательно y_1 долженъ будетъ имѣть видъ:

$$y_1=\varphi_{(x-x_0+a t)}$$

для значеній t, при которыхъ: $0<t<\frac{\pi}{m}$ и $x_0>x>x_0-a t$, и

$$y_1=\varphi_{(x_0-x+a t)}$$

для тѣхъ же значеній t и значеній x, для которыхъ $x_0<x<x_0+a t$. Если означимъ чрезъ φ' производную функціи φ, то изъ уравненія (11) слѣдуетъ:

$$F=A\sin m t = 2 S\varphi'_{(a t)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11a)$$

Это послѣднее, проинтегрированное по t, дастъ:

$$C-\frac{A}{m}\cos m t=\frac{2 S}{a}\varphi_{(a t)}$$

опредѣляя же постоянную такимъ образомъ чтобы для $x=x_0\pm a t$, y_1 и y^1 сдѣлались равными нулю, мы получимъ

$$y_1=\frac{a A}{2 m S}\Big\{1-\cos\Big[\frac{m}{a}(x-x_0)+m t\Big]\Big\},$$
$$y^1=\frac{a A}{2 m S}\Big\{1-\cos\Big[\frac{m}{a}(x_0-x)+m t\Big]\Big\}.$$

Этимъ опредѣлено движеніе струны для времени, при которомъ $0<t<\frac{\pi}{m}$ и для того случая, когда обѣ распространяющіяся волны не ударяются объ одинъ изъ концевъ струны. Если бы это такъ было, то волны тамъ бы отразились.

Когда $a t$ сдѣлается больше $\frac{\pi}{m}$, E дѣлается равнымъ нулю и тогда изъ уравненія (11a) слѣдуетъ, что

$\varphi'_{(a t)}=0$, слѣдовательно $\varphi=$ постоян. для $a t>\frac{\pi}{m}$.

Слѣдовательно для тѣхъ точекъ струны, по которымъ волна уже прошла,

какъ y_1 такъ и y^1 остаются равными $\frac{a\,A}{S\,m}$ до тѣхъ поръ, пока части волнъ, которыя отражены у концовъ струны не достигнутъ упомянутыхъ точекъ.

Для того чтобы ввести въ вычисленіе, подходящимъ образомъ вліяніе концовъ струны, слѣдуетъ себѣ представить что она безконечна длинна и что всѣ точки, отстоящія отъ точки удара x_0 на кратное $2\,l$ ударены одновременно какъ и x_0, такъ что изъ всѣхъ ихъ исходятъ такія же волны какъ и изъ x_0. Далѣе представимъ себѣ, въ тѣхъ точкахъ, въ которыхъ $x = -x_0 \pm a\,l$ одновременно съ ударомъ въ x_0, подобный-же ударъ, но происходящій въ противоположномъ направленіи, такъ что изъ этихъ послѣднихъ точекъ исходятъ волны одинаковой формы съ волнами x_0, но съ отрицательною высотою. Тогда въ конечныхъ точкахъ струны будутъ постоянно совпадать равныя, но противуположныя значенія положительныхъ и отрицательныхъ волнъ; слѣдовательно эти конечныя точки останутся вполнѣ въ покоѣ, и для дѣйствительно существующей части струны, которую мы себѣ вообразили безконечною, будутъ исполнены между обоими ея концами всѣ условія, которымъ нужно удовлетворить.

Съ того момента, когда молотокъ оставляетъ струну, ея движеніе можетъ быть разсматриваемо какъ прохожденіе обѣихъ системъ волнъ распространяющихся впередъ (т. е. по направленію положительныхъ x) и назадъ (т. е. по направленію отрицательныхъ x). Однако отъ этихъ системъ волнъ мы только нашли отдѣльныя отрывочныя части, а именно тѣ, которыя соотвѣтствуютъ частямъ струны лежащимъ ближе всего къ точкамъ удара. Мы должны еще достаточно пополнить волны для того, чтобы получить связную поступательную и такую-же обратнодвижущуюся систему.

Если слѣдовать по струнѣ по направленію положительныхъ x-овъ, то $y = 0$ до встрѣчи съ положительною, обратно движущуюся волною; затѣмъ онъ возрастаетъ до $\frac{a\,A}{m\,S}$, значенія, которое онъ имѣетъ въ положительныхъ точкахъ удара. Если переходятъ точку удара и черезъ движущуюся оттуда впередъ волну, то снова находятъ значенія y, которыя = нулю и которыя уменьшаются до $-\frac{a\,A}{m\,S}$, какъ только переходятъ черезъ первую отрицательную обратно движущуюся волну. y имѣетъ упомянутое значеніе $-\frac{a\,A}{m\,S}$ въ первой отрицательной точкѣ удара. Для того чтобы теперь между собою соединить положительныя и отрицательныя обратно движущіяся волны, нужно себѣ представить, между всякою положительною и ближайше слѣдующею отрицательною точкою удара, величину $+\frac{a\,A}{m\,S}$ приложенную къ значенію y_1, такъ чтобы высота волны сохранила бы значеніе, которое она уже имѣла въ x_0 до того мѣста, гдѣ начинается соотвѣтствующая отрицательная волна. Слѣдовательно здѣсь высота волны будетъ $\frac{a\,A}{2\,m\,S} - y_1$ и убываетъ до нуля. Точно такимъ-же образомъ мы себѣ представляемъ между отрицательными точками удара и каждою ближайше затѣмъ слѣдующею положительною точкою удара, величину $-\frac{a\,A}{m\,S}$, приложенную къ высотѣ волнъ, движущихся впередъ. Тогда всѣ обратно движущіяся волны будутъ вездѣ положительными, а движущіяся впередъ вездѣ отрицательными; вмѣстѣ съ тѣмъ эти волны такого свойства, что во время своего распространенія онѣ воспроизводятъ тотъ родъ движенія, который мы нашли для струны послѣ того, какъ молотокъ ее оставилъ.

Намъ слѣдуетъ теперь выразить форму этихъ волнообразныхъ системъ

какъ сумму простыхъ волнъ. Длина волны $2\,l$, потому что однородныя точки удара повторяются въ отстояніяхъ $2\,l$.

Если мы возьмемъ положительныя обратнодвижущіяся волны во время $t = \frac{\pi}{m}$ то:

1) отъ $x = 0$ до $x = x_0 - \frac{a\pi}{m}$,

$$y_1 = 0;$$

2) отъ $x = x_0 - \frac{a\pi}{m}$ до $x = x_0$,

$$y_1 = \frac{a\,A}{2\,m\,S}\left\{1 + \cos\left[\frac{m}{a}(x - x_0)\right]\right\}$$

3) отъ $x = x_0$ до $x = 2\,l - x_0 - \frac{a\,\pi}{m}$,

$$y_1 = \frac{a\,A}{m\,S};$$

4) отъ $x = 2\,l - x_0 - \frac{a\,\pi}{m}$ до $x = 2\,l - x_0$,

$$y_1 = \frac{a\,A}{2\,m\,S}\left\{1 - \cos\left[\frac{m}{a}\,(2\,l - x_0 - x)\right]\right\};$$

5) отъ $x = 2\,l - x_0$ до $x = 2\,l$,

$$y_1 = 0.$$

Если теперь мы положимъ

$$y_1 = A_0 + A_1 \cos\frac{\pi}{l}(x + c) + A_2 \cos\frac{2\,\pi}{l}(x + c) + A_3 \cos\frac{3\,\pi}{l}(x + c) + \text{и т. д.}$$

$$+ B_1 \sin\frac{\pi}{l}(x + c) + B_2 \sin\frac{2\,\pi}{l}(x + c) + A_3 \cos\frac{3\,\pi}{l}(x + c) + \text{и т. д.} \quad (12)$$

то

$$\int_0^{2\,l} y \cos\frac{n\,\pi}{l}(x + c)\,dx = A_n\,l,$$

$$\int_0^{2\,l} y \sin\frac{n\,\pi}{l}(x + c)\,dx = B_n\,l.$$

Если сдѣлать $c = \frac{a\,\pi}{2\,m}$, то всѣ B сдѣлаются равными нулю, потому что y для $\frac{a\,\pi}{2\,m} + \xi$ и $\frac{a\,\pi}{2\,m} - \xi$ имѣетъ одинаковыя значенія и предѣлы интегрированія можно выбрать произвольно, если только однородныя точки удара повторяются на отстояніяхъ $2\,l$. Напротивъ

$$A_n = -\frac{2\,a\,A\,m\,l^2}{S\,n\,\pi\,(n^2\,\pi^2\,a^2 - m^2\,l^2)} \sin\left(\frac{n\,\pi}{l}x_0\right) \cos\left(\frac{n\,\pi}{l}\cdot\frac{a\,\pi}{2\,m}\right) \quad \ldots\ldots\ (12a$$

Это уравненіе даетъ амплитуды A_n отдѣльныхъ частныхъ тоновъ звука ударенной струны. Если точка удара есть узловая точка n-го тона, то множитель $\sin\frac{n\,\pi}{l}x_0 = 0$ и слѣдовательно уничтожаются тѣ тоны, въ узловой точкѣ которыхъ произошелъ ударъ. На основаніи этого уравненія вычислена данная на страницѣ 120-й таблица.

Если хотятъ опредѣлить движеніе струны вполнѣ, то въ уравненіи (2) для y_1 нужно замѣнить x выраженіемъ $x + a\,t$. Тогда выраженіе соотвѣтствующее y^1, будетъ:

$$y^1 = -A_0 - A_1 \cos\frac{\pi}{l}(x + a\,t - c) - A_2 \cos\frac{2\,\pi}{l}\,(x - a\,t - c) + \text{и т. д.}$$

и окончательно

$$y = y_1 + y^1 = 2 A_1 \cos\frac{\pi}{l} x \cos\frac{\pi}{l}(at + c) + 2 A_2 \cos\frac{2\pi}{l} x \cos\frac{2\pi}{l}(at + c) + \text{и т. д.}$$

чѣмъ и рѣшается задача.

Если m дѣлается бозконечно большимъ, т. е. молотокъ будетъ совершенно твердымъ, то выраженіе A_m уравненія (12a) переходитъ въ выраженіе B_m уравненія (10). [m въ (10) тожественно съ n въ (12a)].

Если m не безконечно большое, то при возрастающихъ величинахъ n, коэфиціенты A_n убываютъ на $\frac{1}{n^3}$; при безконечно большомъ m на $\frac{1}{n}$; въ дернутой струнѣ они убываютъ на $\frac{1}{n^2}$. Это соотвѣтствуетъ теоремамъ, которыя доказалъ Стоксъ *) (Stokes) о вліяніи прерывности функціи, разлагаемой въ рядъ Фурье на величину членовъ съ большимъ числомъ ихъ мѣста по порядку. Дѣло въ томъ, что если y функція, которая должна быть разложена въ рядъ

$$y = A_0 + A_1 \sin(mx + c_1) + A_2 \sin(2mx + c_2) + \text{и т. д.}$$

то коэфиціентъ A_n, для очень большихъ значеній n:

1) порядка $\frac{1}{n}$, если y самъ дѣлаетъ внезапный скачекъ;

2) порядка $\frac{1}{n_2}$, если производная $\frac{dy}{dx}$ внезапно измѣняется;

3) порядка $\frac{1}{n^3}$, если только $\frac{d^2y}{dx^2}$ прерывная;

4) въ крайнемъ случаѣ порядка e^{-n} если всѣ производныя функціи и она сама непрерывныя.

Изъ этого получается неоднократно упомянутый въ текстѣ для музыкальныхъ звуковъ законъ, что они имѣютъ вообще тѣмъ сильнѣйшіе высокіе верхніе тоны, чѣмъ прерывнѣе соотвѣтствующее движеніе звучащихъ тѣлъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ VI.

Анализъ движенія скрипичныхъ струнъ.

Къ стр. 127.

Положимъ что чечевица микроскопа вибрацій исполняетъ горизонтальныя колебанія, а наблюдаемая точка, — вертикальныя; при этихъ то условіяхъ и наблюдаютъ кривыя колебаній, каковыми онѣ изображены на фиг. 23 стр. 125. Если назовемъ вертикальныя ординаты чрезъ y, горизонтальныя чрезъ x, то y прямо пропорціонально элонгаціямъ колеблющейся точки, а x таковымъ же колеблющейся чечевицы. Послѣдняя совершаетъ простое маятникообразное движеніе; слѣдовательно если число ся колебаній n, а время t, то вообще

$$x = A \sin(2\pi n t + c),$$

гдѣ A и c постоянныя.

Если теперь y совершаетъ также n колебаній, то x и y обѣ періодичны и имѣютъ ту же самую продолжительность періода; при этомъ по прошествіи каждаго такого отдѣльнаго періода, x и y будутъ имѣть снова тѣ же значенія и наблюдаемая точка будетъ снова въ точности на томъ же мѣстѣ, гдѣ она находилась въ началѣ періода. Это справедливо для каждой точки кривой и для каждаго новаго повторенія колебательнаго движенія, отчего кривая и кажется неподвижною.

*) Cambrige Transactions VIII, 533 до 584.

Представимъ себѣ одну изъ кривыхъ колебаній такого же рода какими онѣ изображены на фигурахъ 5, 6, 7, 8, 9, 10, (стр. 29 до 33), и коихъ горизонтальныя абсциссы прямо пропорціональны времени; положимъ, что такого рода кривая обернута вокругъ цилиндра, окружность котораго равняется длинѣ ея періода, такъ что время t можетъ быть измѣрено вдоль окружности цилиндра, и если назовемъ чрезъ x растоянія отъ плоскости, проведенной чрезъ его ось, то и здѣсь

$$x = A \sin(2\pi n t + c),$$

гдѣ $A \sin c$ означаетъ значеніе x при $t = 0$ и A радіусъ цилиндра. Слѣдовательно если начерченная на цилиндрѣ кривая разсматривается безконечно удаленнымъ глазомъ, находящимся на линіи $x = 0$, $y = 0$, то кривая представляется какъ разъ такою-же какъ и въ микроскопѣ вибрацій.

Если x и y не имѣютъ въ точности тотъ же періодъ, если напр. y дѣлаетъ n колебаній, x же $n + \Delta n$, гдѣ подъ Δn подразумѣвается весьма малая величина, то выраженіе x можно написать такъ

$$x = A \sin[2\pi n t + (c + 2\pi t \Delta n)].$$

Прежняя постоянная величина C, въ этомъ случаѣ возрастаетъ медленно. Что касается c, то онъ означаетъ уголъ составленный плоскостью $x = 0$ и точкою чертежа гдѣ $t = 0$. Слѣдовательно въ этомъ случаѣ цилиндръ, на которомъ мы предположили обернутое изображеніе, будетъ казаться вращающимся около своей оси.

Такъ какъ величина, которая періодична по прошествіи періода π можетъ быть также разсматриваема какъ періодичная по прошествіи 2π, 3π или $a\pi$, періодовъ, если a произвольное цѣлое число, то соображенія эти имѣютъ мѣсто и для того случая, когда періодъ y составляетъ аликвотную часть періода x или наоборотъ, когда обѣ суть аликвотныя части одного и того же третьяго періода, т. е. когда тоны камертона и наблюдаемаго тѣла находятся въ какомъ бы то ни было консонирующемъ отношеніи. Однако слѣдуетъ замѣтить, что общій періодъ не долженъ быть столь длиннымъ, чтобы во время его длительности могло исчезнуть въ глазѣ свѣтовое впечатлѣніе.

Изъ наблюденныхъ кривыхъ фиг. 23 B. C и фиг. 24 слѣдуетъ, что всѣ точки струны попеременно восходятъ и нисходятъ такимъ образомъ, что какъ восхожденіе, такъ и нисхожденіе совершаются съ нѣкоторою постоянною скоростью; однако же скорость нисхожденія можетъ быть различна отъ скорости восхожденія. Если смычекъ захватываетъ струну въ узловой точкѣ одного изъ высшихъ верхнихъ тоновъ, то движеніе происходитъ вполнѣ такъ, какъ оно было и описано, во всѣхъ узловыхъ точкахъ того же тона. Въ другихъ точкахъ струны еще замѣтны маленькія извилины фигуры колебанія, которыя однако все таки дозволяютъ узнать изображеніе описаннаго главнаго движенія.

Фиг. 62.

Если въ фиг. 62 мы будемъ отсчитывать время съ абсциссы точки α, такъ что для α, $t = 0$; если положимъ что для точки β, $t = \mathfrak{T}$ и для точки γ, $t = T$, такъ что послѣдніе обозначаютъ продолжительность цѣлаго періода; тогда значеніе y будетъ

$$\left.\begin{array}{ll} \text{отъ } t = 0 \text{ до } t = \mathfrak{T} & y = ft + h \\ \text{отъ } t = \mathfrak{T} \text{ до } t = T & y = g(T - t) + h \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

при чемъ для $t=\mathfrak{T}$ оказывается, что

$$f\mathfrak{T}=g(T-\mathfrak{T})$$

Если мы теперь представимъ себѣ y разложеннымъ въ рядъ Фурье

$$y=A_1\sin\frac{2\pi t}{T}+A_2\sin\frac{4\pi t}{T}+A_3\sin\frac{6\pi t}{T}+\text{и т. д.}$$

$$+B_1\cos\frac{2\pi t}{T}+B_2\cos\frac{4\pi t}{T}+B_3\cos\frac{6\pi t}{T}+\text{и т. д.}$$

то интегрированіемъ получится

$$A_n\int_0^T\sin^2\frac{2n\pi t}{T}\,dt=\int_0^T y\sin\frac{2n\pi t}{T}\,dt$$

$$B_n\int_0^T\cos^2\frac{2n\pi t}{T}\,dt=\int_0^T y\cos\frac{2n\pi t}{T}\,dt,$$

и это дастъ слѣдующія значенія A_n и B_n:

$$A_n=\frac{(g+f)T}{2n^2\pi^2}\sin\frac{2n\pi\mathfrak{T}}{T}$$

$$B_n=-\frac{(g+f)T}{2n^2\pi^2}\left\{1-\cos\frac{2n\pi\mathfrak{T}}{T}\right\}$$

а y получаетъ форму:

$$y=\frac{(g+f)T}{\pi^2}\sum_{n=1}^{n=\infty}\left\{\frac{1}{n^2}\sin\frac{\pi n\mathfrak{T}}{T}\sin\frac{2\pi n}{T}\left(t-\frac{\mathfrak{T}}{2}\right)\right\}\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

Въ равенствѣ (2) y означаетъ только разстояніе опредѣленной точки струны отъ положенія равновѣсія. Если x означаетъ разстояніе этой точки отъ начала струны, а L длину струны, то общая форма значенія y будетъ, какъ въ приложеніи III, равенство (1b):

$$y=\sum_{n=1}^{n=\infty}\left\{C_n\sin\left(\frac{\pi n x}{L}\right)\sin\frac{2\pi n}{T}\left(t-\frac{\mathfrak{T}}{2}\right)\right\}$$

$$+\sum\left\{D_n\sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)\cos\frac{2\pi n}{T}\left(t-\frac{\mathfrak{T}}{2}\right)\right\}\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

Сравненіе равенствъ (2) и (3) непосредственно показываетъ, что всѣ

$D_n=0$ и

$$C_n\sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)=\frac{g+f}{\pi^2}\cdot\frac{T}{n^2}\sin\frac{n\pi\mathfrak{T}}{T}\ldots\ldots\ldots\ldots(3a)$$

Здѣсь $g+f$ и $\mathfrak{T}$ зависятъ отъ x, но не отъ n. Если взять равенства для $n=1$ и $n=2$ и раздѣлить ихъ одно на другое, то получится:

$$\frac{C_2}{C_1}\cos\frac{\pi x}{L}=\frac{1}{4}\cos\frac{\pi\mathfrak{T}}{T}.$$

Изъ этого, какъ и показываетъ наблюденіе, слѣдуетъ что при $x=\frac{L}{2}$, $\mathfrak{T}=\frac{T}{2}$. Если же $x=0$, то по наблюденіямъ и $\mathfrak{T}=0$; слѣдовательно:

$$C_2=\frac{1}{4}C_1$$

$$\frac{x}{L}=\frac{\mathfrak{T}}{T}\ldots\ldots\ldots\ldots(3b)$$

и изъ этого слѣдуетъ, что $g+f$ независимо отъ x. Если назовемъ чрезъ p амплитуду колебанія точки струны x, то.

$$f\mathfrak{T}=g(T-\mathfrak{T})=2p,$$

$$g+f=\frac{2p}{\mathfrak{T}}+\frac{2p}{T-\mathfrak{T}}=\frac{2pT}{(T-\mathfrak{T})}=\frac{2pL^2}{Tx(L-x)}.$$

И такъ какъ $g+f$ независимо отъ x, то должно быть

$$p=4P\frac{x(L-x)}{L^2}$$

гдѣ P означаетъ амплитуду въ серединѣ струны. Изъ равенства (3b) слѣдуетъ, что отрѣзки $\alpha\beta$ и $\beta\gamma$ фигуры колебанія фиг. 62 A, должны соотноситься какъ соотвѣтствующія части струны по обѣ стороны наблюдаемой точки. Изъ этого окончательно слѣдуетъ, что

$$y=\frac{8P}{\pi^2}\sum_{n=1}^{n=\infty}\left\{\frac{1}{n^2}\sin\frac{n\pi x}{L}\sin\frac{2\pi n}{T}\left(t-\frac{\mathfrak{T}}{2}\right)\right\}\ldots\ldots\ldots(3c)$$

какъ полнѣйшее выраженіе движенія струны.

Если положить $t-\frac{\mathfrak{T}}{2}=0$, то y становится равнымъ нулю для каждаго значенія x и слѣдовательно всѣ части струны проходятъ одновременно чрезъ ея положеніе равновѣсія.

Затѣмъ скорость f точки x

$$f=\frac{2p}{\mathfrak{T}}=\frac{8P(L-x)}{LT}.$$

Однако эта скорость существуетъ только во время $\mathfrak{T}$

$$\mathfrak{T}=T\frac{x}{L}$$

слѣдовательно, послѣ времени t:

$$y=ft=\frac{8P}{LT}\cdot(L-x)t\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

пока

$$t<T\frac{x}{L}$$

и слѣдовательно

$$y<\frac{8P}{L^2}x(L-x).$$

Отсюда y идетъ обратно, со скоростью $g=\frac{2P}{T-\mathfrak{T}}=8\frac{Px}{LT}$.

Слѣдовательно y послѣ времени $t=\mathfrak{T}+t_1$:

$$y=\frac{8P}{L^2}x(L-x)-\frac{8Px}{ST}t_1.$$

И такъ какъ $L-x=\frac{T-\mathfrak{T}}{T}L$

то

$$y=\frac{8Px}{LT}\left\{T-(\mathfrak{T}+t_1)\right\}$$

$$=\frac{8Px}{LT}(T-t)\ldots\ldots\ldots\ldots(4a)$$

Слѣдовательно уклоненіе на одной части струны дано уравненіемъ (4),

а на другой, уравненіемъ (4 а). Оба уравненія даютъ для вида струны прямую линію, проходящую или (4) черезъ точку $x = L$, или (4 а) чрезъ точку $x = 0$. Это и суть обѣ конечныя точки струны. Ея точка раздѣла дана условіемъ:

$$y = \frac{8P}{LT}(L - x)\ t = \frac{8P}{LT} x\ (T - t).$$

Слѣдовательно должно быть

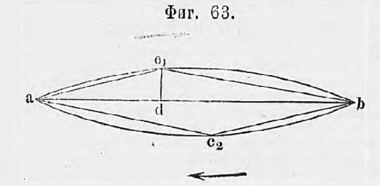
$$(L - x)\ t = x\ (T - t)$$
$$L t = x T.$$

И такъ абсцисса x точки раздѣла возрастаетъ пропорціонально времени. Слѣдовательно точка раздѣла, которая вмѣстѣ съ тѣмъ и самая удаленная отъ положенія равновѣсія, перемѣщается съ постоянною скоростью отъ одного конца струны къ другому, и въ то же время упомянутая точка лежитъ сама на параболической дугѣ, такъ какъ для нея

$$y = p = \frac{8P}{L^2} x\ (L - x).$$

И такъ, движеніе струны можетъ быть вкратцѣ описано вотъ какъ: основаніе d абсциссы (фиг. 63) самой высокой точки струны пробѣгаетъ съ постоянною скоростью прямо и обратно по линіи ab, тогда какъ высшая точка сама пробѣгаетъ одну за другою обѣ параболическія дуги $a c_1 b$ и $b c_2 a$, а сама струна натянута по направленіямъ двухъ прямыхъ линій $a c_1$ и $b c_1$, или $a c_2$ и $b c_2$.

Фиг. 63.



Маленькія извилины формы колебанія, такъ часто наблюдаемыя, происходятъ большею частью отъ того, что тѣ тоны, которые имѣютъ узловыя точки въ мѣстѣ проведенія смычкомъ, или же по близости, и которые поэтому возбуждаются мало, или же вовсе не возбуждаются, — заглушаются и исчезаютъ. Если проводятъ смычкомъ въ узловой точкѣ m-го верхняго тона сосѣдняго съ подставкою, то колебанія этого m-го, далѣе $2\ m$-го, $3\ m$-го и т. д. тоновъ, не имѣютъ никакого вліянія на движеніе возбужденной смычкомъ точки струны и поэтому они могутъ уничтожиться, безъ того чтобы вліяніе смычка на струну измѣнилось; этимъ дѣйствительно и объясняются наблюдаемыя извилины фигуры колебанія. Что происходитъ въ томъ случаѣ, когда смычекъ захватываетъ струну между двумя узловыми точками, мнѣ неудалось открыть посредствомъ наблюденій.

ПРИЛОЖЕНІЕ VII.

Вліяніе резонанса въ язычковыхъ трубкахъ.

Къ стр. 144.

Законы резонанса для цилиндрическихъ трубокъ я развилъ математически въ моей статьѣ: «Теорія воздушныхъ колебаній въ трубкахъ съ открытыми концами» *). Для язычковыхъ трубокъ примѣнимъ именно примѣръ изложенный въ § 7 этой статьи, въ которомъ движеніе внутри трубки

*) Journal für reine und angevandte Mathematik, Bd. LVII.

предположено даннымъ. Пусть $V dt$ будетъ объемомъ воздуха, который втекаетъ въ язычковую трубку въ продолженіе чрезвычайно малой частицы времени dt; такъ какъ эта величина періодическая, то она можетъ быть выражена рядомъ Фурье:

$$V = C_0 + C_1 \cos\ (2\pi n t + T_1) + C_2 \cos\ (4\pi n t + T_2) + \text{и т. д.} \ldots \quad (1)$$

Резонансъ слѣдуетъ опредѣлить отдѣльно для каждаго отдѣльнаго члена, потому что колебательныя движенія, соотвѣтствующія отдѣльнымъ верхнимъ тонамъ, безпрепятственно накладываются другъ на друга. Уравненія (15) и (12b), находящіяся въ статьѣ о которой идетъ рѣчь, намъ показываютъ, что если подъ l подразумѣвается длина трубки, подъ Q ея поперечный разрѣзъ, подъ $l + \alpha$ измѣненная длина трубки (разница α въ цилиндрическихъ трубкахъ равняется радіусу умноженному на $\frac{\pi}{4}$), подъ k величина $\frac{2\pi}{\lambda}$ (λ длина волны), а потенціалъ волнъ въ свободномъ пространствѣ для тона числа колебаній $\mathfrak{a} n$ положимъ равнымъ

$$\frac{M_\mathfrak{a}}{r} \cos\ (\mathfrak{a} k r - 2\pi \mathfrak{a} n t + c),$$

гдѣ r обозначаетъ разстояніе отверстія отъ средней точки,—то

$$M_\mathfrak{a} = \frac{C_\mathfrak{a}}{\sqrt{4\pi^2 \cos^2 \mathfrak{a} k (l + \alpha) + \mathfrak{a}^4 k^4 Q^2 \sin^2 \mathfrak{a} k l}}.$$

Такъ какъ величина $k^2 Q$ должна быть всегда предположена очень малою если наша теорія должна быть примѣнимою, то для тѣхъ случаевъ, когда $l + \alpha$ нечетное кратное одной четверти длины волны, равенство обращается приблизительно въ

$$M_\mathfrak{a} = \frac{C_\mathfrak{a}}{2\pi \cos \mathfrak{a} k (l + \alpha)}.$$

И такъ резонансъ самый слабый тогда, когда измѣненная длина трубки есть четная кратная одной четверти длины волны, и становится тѣмъ сильнѣе, чѣмъ она болѣе приближается къ нечетному кратному той же длины. Если она достигаетъ это послѣднее, то изъ полной формулы получается

$$M_\mathfrak{a} = \frac{C_\mathfrak{a}}{\mathfrak{a}^2 k^2 Q}.$$

И такъ, maximum резонанса тѣмъ больше, чѣмъ больше длина волны соотвѣтствующаго тона и чѣмъ меньше поперечный разрѣзъ. Чѣмъ послѣдній меньше, тѣмъ болѣе стѣснены предѣлы высоты, въ которыхъ можетъ быть воспроизведенъ сильный резонансъ; тогда какъ при большемъ поперечномъ разрѣзѣ сильный резонансъ простирается на большую часть скалы.

Помощью положеній, изложенныхъ въ § 10 статьи о которой идетъ рѣчь, могутъ быть получены подобныя же уравненія для тѣлъ съ полостями другой формы.

Такъ какъ условіе сильнаго резонанса то, чтобы $\cos \mathfrak{a} k (l + \alpha) = 0$, то въ цилиндрическихъ трубкахъ (кларнетахъ), одновременно съ основнымъ тономъ, будутъ усилены только нечетные верхніе тоны.

Внутри коническихъ трубокъ, мы можемъ положить потенціалъ движенія воздуха для n-го тона равнымъ

$$V = \frac{A}{r} \sin\ (k r + c) \cos 2\pi n t,$$

гдѣ r обозначаетъ разстояніе отъ вершины конуса. Если язычекъ помѣщенъ отъ вершины конуса на разстояніи a и если длина трубки l, и слѣдовательно для открытаго конца $r = l + a$, то мы можемъ принять за предѣльное условіе, что давленіе у свободнаго конца, или же по крайней мѣрѣ около него, должно быть равно нулю; это случается когда

$$\frac{dV}{dt} = -2\pi n \frac{A}{l+a} \sin\,[k\,(l+a)+c]\,\sin\,(2\pi n t) = 0,$$

и слѣдовательно когда

$$\sin\,[k\,(l+a)+c] = 0$$

и мы можемъ положить:

$$c = -k\,(l+a)$$

$$V = \frac{A}{r}\sin k\,(r-l-a)\cos\,(2\pi n t).$$

Здѣсь, какъ и въ цилиндрическихъ трубкахъ, сильнѣйшій резонансъ отвѣчаетъ тѣмъ тонамъ, которые имѣютъ minimum скорости въ томъ мѣстѣ гдѣ находится язычекъ. Именно, такъ какъ при развитіи скорости въ мундштукѣ, коэфиціенты C_{α} въ уравненіи (1) имѣютъ опредѣленное значеніе, которое только зависитъ отъ движенія язычка и отъ происходящихъ вслѣдствіе этого толчковъ воздуха, то коэфиціентъ A послѣдняго уравненія долженъ сдѣлаться тѣмъ больше, чѣмъ меньшую скорость воспроизводитъ соотвѣтствующая система волнъ въ мундштукѣ трубки. На столько же тогда становится большею и скорость въ другихъ частяхъ трубки. Скорость же частицъ воздуха

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2}\cos 2\pi n t\left\{kr\cos k\,(r-l-a) - \sin k\,(r-l-a)\right\}.$$

И такъ, для *maximum*'а резонанса необходимо чтобы для $r=a$

$$kr = \operatorname{tang} k\,(r-l-a) \text{ или}$$
$$ka = -\operatorname{tang}\,(kl).$$

Если теперь величина a, т. е разстояніе язычка отъ вершины конуса, очень мала, то ka, а слѣдовательно и $\operatorname{tg} kl$ очень малы, и $(kl - \alpha\pi)$ должно быть очень малымъ, если α означаетъ нѣкоторое цѣлое число. Тогда мы можемъ разложить тангенсъ по степенямъ его дуги и ограничиваясь первымъ членомъ этого разложенія, получить:

$$ka = \alpha\pi - kl$$
$$k\,(a+l) = \alpha\pi$$

или положивъ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$:

$$a + l = \frac{\alpha}{2}\lambda,$$

откуда слѣдуетъ, что конусообразныя трубки усиливаютъ всѣ тѣ тоны для которыхъ вся длина конуса, считая до его воображаемой вершины составляетъ кратное полуволны, предполагая что растояніе язычка отъ этой воображаемой вершины конуса безконечно мало сравнительно съ длиною волны. Слѣдовательно, если трубкою усиливается основной тонъ звука, то усилятся также и всѣ его четные и нечетные верхніе тоны до нѣкоторой высоты, при которой длины волнъ верхнихъ тоновъ уже не очень велики сравнительно съ разстояніемъ a.

ПРИЛОЖЕНІЕ VIII.

Практическія указанія для опытовъ при составленіи гласныхъ.

Къ стр. 166.

Для того чтобы получить сильныя колебанія камертоновъ, необходимо чтобы числа колебаній соотвѣтствовали съ наибольшею точностью простымъ ариѳметическимъ отношеніямъ. Если камертоны были настроены изготовителемъ помощью слуха и фортепіано такъ точно, насколько это возможно, то дальнѣйшей степени точности достигаютъ помощью самихъ токовъ. Сперва соединяютъ камертонъ прерыватель (фиг. 33 стр. 165) съ камертономъ, соотвѣтствующимъ основному тону и передвигаютъ на первомъ подвижные щипчики до тѣхъ поръ, пока оба не будутъ въ точномъ однозвучіи; при этомъ сила основнаго тона достигаетъ *maximum*'а, существованіе котораго легко распознается какъ глазомъ, такъ и ухомъ. Дѣло въ томъ что колебанія этого нижайшаго камертона столь сильны, что величина ихъ, при благопріятныхъ условіяхъ достигаетъ отъ, 2-хъ до 3-хъ миллиметровъ.. Слѣдуетъ также замѣтить, что если однозвучіе установлено приблизительно но не вполнѣ и если токи заставляютъ сперва дѣйствовать на камертонъ, то слышатъ и видятъ нѣсколько дрожаній послѣдняго, которыя однако исчезаютъ при достиженіи имъ полнаго хода.

Послѣ того какъ однозвучіе камертона прерывателя и камертона основнаго тона достигнуто, вводятъ послѣдовательно въ цѣпь всѣ остальные камертоны съ ихъ открытыми усиливающими трубками и настраиваютъ ихъ до тѣхъ поръ, пока они не дадутъ *maximum*'а силы тона подъ вліяніемъ прерывныхъ токовъ. Сперва настраиваніе совершается напилкомъ. Какъ извѣстно, камертоны повышаютъ тѣмъ, что немного уменьшаютъ оконечности вѣтвей и понижаютъ тѣмъ что утоняютъ основанія вѣтвей. Но то и другое должно дѣлаться на обѣихъ вѣтвяхъ по возможности равномѣрнѣе. Для того чтобы узнать не слишкомъ ли высокъ или низокъ камертонъ, къ оконечностямъ его вѣтвей прилѣпливаютъ немного воску, вслѣдствіе чего онъ понижается, и наблюдаютъ дѣлается-ли отъ этого его тонъ слабѣе или сильнѣе. Въ первомъ случаѣ онъ слишкомъ низокъ, во второмъ слишкомъ высокъ. Такъ какъ на настройку камертоновъ имѣютъ незначительное вліяніе измѣненія температуры и быть можетъ и другія условія, то я предпочелъ повысить нормальную настройку высшихъ камертоновъ напилкомъ и возстановить вѣрность ихъ настройки налѣпливаніемъ кусочковъ воска на оконечностяхъ ихъ вѣтвей. Количество воска можетъ быть легко измѣнено по желанію, чѣмъ и уничтожаются случайныя незначительныя нарушенія настройки.

Такое точное настраиваніе излишне для усиливающихъ трубокъ; если онѣ даютъ при вдуваніи тонъ камертона, то этого и достаточно. Если онѣ слишкомъ низки, то можно вливать въ нихъ растопленный воскъ и этимъ ихъ повысить. Если онѣ слишкомъ высоки, то слѣдуетъ немного уменьшить отверстіе.

Я долженъ былъ употребить нѣкоторое стараніе для того, чтобы устранить шумъ отъ искры въ мѣстѣ перерыва тока. Сначала я ввелъ большой конденсаторъ изъ листовъ оловянной фольги, т. е. такой, какіе употребляются въ большихъ электромагнитныхъ индукціонныхъ аппаратахъ. Хотя искра этимъ и ослабляется, но только до извѣстной степени. Увеличеніе размѣровъ конденсатора пользы не принесло. Его листы отдѣлены листиками тонкой лакированной бумаги; одинъ изъ нихъ сообщается съ камертономъ прерывателемъ, а другой съ наполненною ртутью чашеч-

кою, въ которую погружается проволока оконечности камертона. Послѣ многихъ тщетныхъ попытокъ, я наконецъ нашелъ, что введеніе весьма длинной и очень тонкой проволоки между обоими концами цѣпи въ мѣстѣ перерыва, почти совершенно устраняетъ шумъ искры, не нарушая однако же вліянія тока на камертоны.

Введенная такимъ образомъ проволока должна имѣть такое большое сопротивленіе, которое бы значительно превосходило сопротивленіе оборотовъ проволоки во всѣхъ электромагнитахъ, взятыхъ вмѣстѣ. Тогда чрезъ эту проволоку проходитъ лишь ничтожная часть тока. Только тогда, когда цѣпь разобщается и тонкая проволока образуетъ единственное замыканіе экстра-тока (Extracurent, extra-courant) электромагнитовъ, то этотъ послѣдній чрезъ нее разряжается. Но для того чтобы тонкая проволока не производила сама экстра-тока, она не должна быть намотана на катушку, но должна быть расположена на дощечкѣ такъ, чтобы чрезъ двѣ ближайшія сосѣднія части проволоки проходили токи въ противоположномъ направленіи. Съ этою цѣлью я привинтилъ къ обоимъ концамъ дощечки (длиною въ 1 футъ) два гребня изъ роговаго каучука и протянулъ между ихъ зубьями прямо и обратно (90 разъ) тонкую посеребреную мѣдную проволоку, употребляемую обыкновенно для обвиванія позументовъ. Такимъ образомъ, большую длину (90 футовъ) этой проволоки хорошо изолируютъ и вмѣщаютъ въ относительно тѣсное пространство и притомъ такъ, что она не даетъ экстра-тока, который бы слѣдовало принять во вниманіе. Дѣло въ томъ, что если-бы при перерываніи тока въ этой проволокѣ образовался экстра-токъ, то этотъ послѣдній имѣлъ бы въ цѣпи, образуемой обмоткой электромагнитовъ и тонкою проволокою, противное направленіе, чѣмъ экстра-токъ электромагнитовъ и этому послѣднему было бы вполнѣ или отчасти воспрепятствовано разряжаться чрезъ тонкую проволоку.

Для приведенія въ движеніе камертоновъ я употреблялъ два или три элемента Грове. Электромагниты были поставлены другъ возлѣ друга въ два ряда Общее расположеніе дано схематически на фиг. 64. Цифры отъ 1 до 8 обозначаютъ усиливающія трубки камертоновъ; пунктирныя линіи, идущія къ m_1 до m_8, нити, отодвигающія крышки отъ отверстій усиливающихъ трубокъ; a_1 до a_8 суть электромагниты, приводящіе въ движеніе камертоны, стоящіе между ихъ вѣтвями; b,—камертонъ прерыватель, f, его электромагнитъ; положеніе обоихъ немного измѣнено, чтобы сдѣлать болѣе яснымъ направленіе проводниковъ. Элементы гальванической батареи обозначены посредствомъ e_1 и e_2; длинная тонкая проволока чрезъ dd, а конденсаторъ, коего спирально свернутыя пластинки видны только въ разрѣзѣ, обозначенъ чрезъ c.

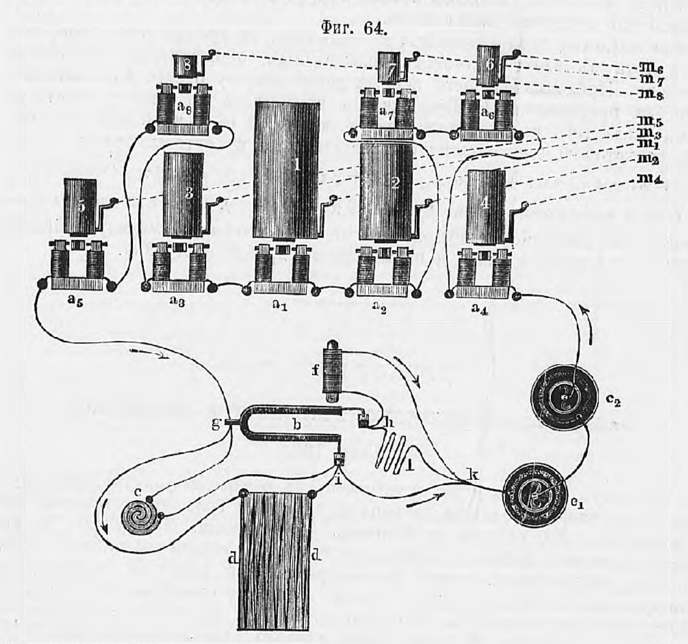
Проводникъ гальваническаго тока идетъ по порядку отъ e_2 чрезъ всѣ электромагниты камертоновъ до основанія камертона прерывателя g.

Иногда выгоднѣе располагать эту часть цѣпи такъ, чтобы она была раздѣлена на двѣ параллельныя вѣтви и чтобы три высшіе, наиболѣе трудно приводимые въ движеніе камертона были бы введены въ одну вѣтвь, а пять низшихъ въ другую, такъ что чрезъ три высшіе протекаетъ болѣе сильный токъ, чѣмъ чрезъ низшіе.

Остатокъ цѣпи, отъ g до втораго полюса батареи e_1 содержитъ прерывателя, который устроенъ здѣсь такъ, что каждое колебаніе камертона два раза возстановляетъ токъ тѣмъ, что одинъ разъ верхняя вѣтвь сообщается съ ртутью чашечки h а другой разъ нижняя вѣтвь съ чашечкою i. Если цѣпь замыкается въ h, то токъ идетъ отъ g чрезъ верхнюю вѣтвь камертона къ h, потомъ чрезъ электромагнитъ камертона f къ k и e_1. Для того чтобы токъ въ электромагнитѣ f ослабить такъ, чтобы камертонъ b не дѣлалъ слишкомъ сильныхъ колебаній, большею частью не-

обходимо ввести побочную проволочную вѣтвь hlk средней степени сопротивленія. Эту вѣтвь изображаютъ зигзаги въ l.

Фиг. 64.



Если вѣтви камертона расходятся, то токъ прерывается въ h и послѣ короткаго перерыва замыкается снова въ i, такъ что онъ теперь направится отъ g чрезъ нижнюю вѣтвь камертона къ i, а оттуда чрезъ k къ батареѣ e_1. Въ моментъ перерыва тока въ h или i происходятъ вслѣдствіе индукціи сильные экстра-токи въ 8-ми электромагнитахъ, которые бы давали блестящія и шумныя искры въ мѣстахъ перерыва, если бы на это мгновеніе электричество не могло бы накопляться въ конденсаторѣ c и частью разряжаться въ длинной проволокѣ dd.

Эта послѣдняя, какъ видно, установливаетъ постоянное сообщеніе между g и батареею, но она составляетъ такой худой проводникъ что чрезъ нее можетъ пройти только незначительная часть тока, за исключеніемъ того случая, когда зарождается въ моментъ перерыва, значительная электродвигательная сила экстра-токовъ.

Приведенное здѣсь расположеніе слѣдуетъ принять тогда, когда камертонъ 1 есть высшая октава камертона b. Напротивъ, если первый дѣлаетъ столько-же колебаній какъ и b, то проволоку ik снимаютъ, и другія двѣ проволоки, кончающіяся въ i, проводятъ къ h.

Если отдѣльные камертоны должны быть исключены изъ цѣпи, то для этого замыкаютъ коммутаторы (commutateurs). относящіеся къ проволочнымъ спиралямъ ихъ электромагнитовъ. Это поясняется фиг. 32 на стр. 164. Металлическія пуговки hh соединены съ зажимами g, въ которыхъ оканчивается проволока электромагнита. Если рычагъ i потянуть книзу, то онъ надвигается съ нѣкоторымъ треніемъ на пуговку h и установливаетъ такимъ образомъ сообщеніе между концами проволоки электро-

магнита; отсюда слѣдуетъ, что токъ передается главнымъ образомъ чрезъ h и h и что болѣе длиннымъ путемъ вокругъ электромагнита проходитъ только его неуловимо малая часть.

Что касается теоріи движенія камертоновъ, то прежде всего ясно, что сила тока въ электромагнитахъ должна быть періодическою функціею времени. Продолжительность періода равна періоду одного колебанія камертона прерывателя b. Пусть число перерывовъ въ секунду будетъ n. Тогда сила тока въ электромагнитахъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и величина силы, съ которою электромагниты дѣйствуютъ на камертоны, будетъ

$$A_0 + A_1 \cos(2\pi n t + c_1) + A_2 \cos(4\pi n t + c_2) + A_3 \cos(6\pi n t + c_3) \text{ и т. д.}$$

Общій членъ этого ряда $A_m \cos(2\pi m n t + c_m)$, будетъ способенъ приводить въ движеніе камертонъ съ mn колебаніями въ секунду, вліяя въ тоже время незначительно и на камертоны другой настройки.

ПРИЛОЖЕНІЕ IX.

Фазы волнъ, происходящихъ отъ резонанса.

Къ стр. 169.

Положимъ, что камертонъ приближенъ къ отверстію усиливающей трубки и что ухо наблюдателя находится въ весьма большомъ отстояніи отъ трубки, если его считать по величинѣ ея отверстія. Я доказалъ *), что если звучащая точка находится въ точкѣ B нѣкоей воздушной среды частью ограниченной, частью же неограниченной твердыми стѣнками, то Звуковое движеніе, въ другой точкѣ A той же среды по своей силѣ и фазѣ такое же, какимъ бы оно было въ B, если бы звучащая точка находилась въ A. Пусть B будетъ тѣмъ мѣстомъ, гдѣ находится камертонъ (или точнѣе оконечность одной изъ его вѣтвей); A то мѣсто, гдѣ находится ухо. Движеніе воздуха, которое происходитъ въ томъ случаѣ, когда камертонъ находится близко къ отверстію, не можетъ быть опредѣлено удовлетворительно, но я опредѣлилъ движеніе (стр. 47 и 48 упомянутой статьи) для того случая, когда камертонъ находится на большомъ разстояніи. Слѣдовательно если мы себѣ представимъ что камертонъ перенесенъ въ то мѣсто, гдѣ находится ухо, т. е. въ A, то намъ предстоитъ опредѣлить Звуковое движеніе у точки B, близкое къ отверстію. Это Звуковое движеніе составлено изъ двухъ частей; одна часть, потенціалъ которой тамъ обозначенъ чрезъ Φ, соотвѣтствуетъ тому движенію, которое бы имѣло мѣсто и при закрытомъ отверстіи усиливающей трубки; въ расматриваемомъ случаѣ она слишкомъ мала для того, чтобы быть замѣченною; другая часть, обозначенная чрезъ Ψ, имѣетъ, по принятымъ тамъ обозначеніямъ, въ свободномъ пространствѣ и въ нѣкоторомъ отдаленіи отъ отверстія значеніе [стр. 38 уравненіе (12 h)]:

$$\Psi = -\frac{A\,Q}{2\pi\rho}.\cos(k\rho - 2\pi n t) \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

(Q поперечный разрѣзъ трубки, ρ разстояніе отъ центра ея отверстія, n число колебаній, $\frac{2\pi}{k}$ длина волны). Движеніе въ безконечно маломъ разстояніи r отъ звучащей точки A дано уравненіемъ:

$$\Phi = H.\frac{\cos[2\pi n t - c]}{r} \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

и если подъ r_1 мы понимаемъ разстояніе воображаемой звучащей точки A отъ центра отверстія трубки, то по (16 c) и (13 a) упомянутой статьи:

$$-\,tang\,(k r_1 + c) = tang.\ \tau_2 = -\frac{k^2 Q \sin k l \cos k\alpha}{2\pi \cos k(l+\alpha)} \quad\ldots\ldots\ldots (2\,a)$$

(l длина трубки, α постоянное, зависящее отъ вида отверстія трубки) и наконецъ (16 c, 13 a) обозначенная тамъ величина I.

$$I = K.\frac{2k\sin(k l)}{r_1} = \pm\ A\ Q\ \frac{k^2 \sin(k l)}{2\pi \sin\tau_2} \text{ откуда слѣдуетъ что}$$

$$A = \pm H.\frac{4\pi \sin\tau_2}{k Q r_1} \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3).$$

Знакъ $\pm$ опредѣляется тѣмъ, что постоянныя A и H получаютъ одинаковый знакъ; при этомъ τ_2 должно заключаться между 0 и π.

Здѣсь сила резонанса A выражена силою звучащей точки H, поперечнымъ разрѣзомъ усиливающей трубки Q, разстояніемъ r_1 звучащей точки отъ отверстія этой послѣдней, и величиною τ_2. Разность фазъ между точками A и B по уравненіямъ (1), (2) и (2 a) будетъ:

$$\pi - k\rho + c = \pi - k\rho - k r_1 - \tau_2.$$

Но при тѣхъ разтояніяхъ точки B отъ средины отверстія, которыя мы можемъ примѣнять, величина $k\rho$ можетъ быть разсматриваема какъ безконечно малая, такъ что при ослабленіи тона, которое мы достигаемъ удаленіемъ камертона отъ отверстія трубки, фаза не измѣняется замѣтнымъ образомъ. Если же мы напротивъ измѣняемъ настройку трубки, то въ выраженіи фазы измѣняется только величина τ_2, которая, по уравненію (2 a), зависима отъ kl; этому же всегда также соотвѣтствуетъ и измѣненіе въ силѣ резонанса, такъ какъ въ ея выраженіи въ уравненіи (3) $\sin\tau_3$ входитъ множителемъ. Самый сильный резонансъ наступаетъ когда $\sin\tau_2 = 1$, слѣдовательно когда $\tau_2 = \frac{\pi}{4}$. Если мы этотъ maximum резонанса назовемъ $\mathfrak{A}$ то,

$$\mathfrak{A} = \frac{4\pi H}{k Q r_1},$$

и для другой настройки трубки, если ея поперечный останется тѣмъ же

$$\sin\tau_2 = \frac{A}{\mathfrak{A}}.$$

Касательно того какъ слѣдуетъ брать уголъ τ_2, т. е. большимъ или меньшимъ прямаго, то это опредѣляется тѣмъ, что будетъ ли въ уравненіи (2 a) значеніе

$$tang\,\tau_2 = -\frac{k^2 Q \sin k l \cos k\alpha}{2\pi \cos k(l+\alpha)}$$

положительное или отрицательное. Такъ какъ теперь k, Q и $\cos k\,a$ постоянно положительные, то значеніе $tang\ \tau_2$ зависитъ отъ множителя $\frac{\sin k l}{\cos k(l+\alpha)}$. Если $\cos k(l+\alpha) = 0$, то имѣетъ мѣсто maximum резонанса, если $\sin k l = 0$, то minimum. И такъ $\tau_2 < \frac{\pi}{2}$ если удлинненіемъ трубки приближаются къ minimum резонанса; напротивъ, $\tau_2 > \frac{\pi}{2}$ если приближаются

*) Journal für reine und angewandte Mathematik, Bd. LVII, S. 1 bis 72. Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden.

къ maximum. Въ практическихъ примѣненіяхъ трубка всегда близка къ maximum резонанса и слѣдовательно $\tau_2 < \frac{\pi}{2}$ если настройка трубки слишкомъ низка и $\tau_2 > \frac{\pi}{2}$ если трубка настроена слишкомъ высоко.

Если разстраиваніемъ трубки дѣлаютъ $A^2 = \frac{1}{2}\mathfrak{A}^2$, то измѣненіе фазы колебанія будетъ $= \frac{\pi}{4}$. Слѣдовательно можно такимъ образомъ всегда усмотрѣть наступившее измѣненіе фазы по измѣненію въ силѣ резонанса.

Подобный же законъ имѣетъ мѣсто и для фазъ колеблющихся камертоновъ, сравненныхъ съ фазами возбуждающаго тока. Чтобы упростить наблюденіе, я хочу здѣсь разсматривать только одну единственную колеблющуюся точку, которая постоянно снова приводится въ свое положеніе равновѣсія нѣкоторою упругою силою. Если x удаленіе точки отъ ея положенія равновѣсія, то пусть $-a^2 x$ будетъ упругою силою. Пусть далѣе дѣйствуетъ періодическая сила тожественная воспроизводимой при нашихъ опытахъ токами и величина которой $A \sin nt$, а также и сила ослабляющая колебанія, величина которой пропорціональна скорости и слѣдовательно равна $-b^2 \frac{dx}{dt}$. Такая сила происходитъ въ нашихъ опытахъ частью отъ тренія и сопротивленія воздуха, но главнымъ образомъ отъ наведенныхъ движущимися камертонами токовъ, которые болѣе всего и способствуютъ заглушенію колебаній. Слѣдовательно если m масса колеблющейся точки, то

$$m \frac{d^2 x}{d t^2} = -a^2 x - b^2 \frac{dx}{dt} + A \sin nt \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Полный интегралъ этого уравненія

$$x = \frac{A \sin \varepsilon}{b^2 n} \sin (nt - \varepsilon) + B e^{-\frac{b^2 t}{2m}} \sin \left\{ \frac{t}{m} \sqrt{a^2 m - \frac{1}{4} b^4} + c \right\} \ldots (4\,a)$$

гдѣ

$$\operatorname{tang} \varepsilon = + \frac{b^2 n}{a^2 - m n^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (4\,b).$$

Членъ уравненія (4 а), умноженный на B, имѣетъ вліяніе только при началѣ движенія; вслѣдствіе множителя $e^{-\frac{b^2 t}{2m}}$ онъ становится все меньше и меньше при возврастающемъ времени t такъ что онъ наконецъ окончательно исчезаетъ. Однако существованіе его при началѣ движенія служитъ причиною тому, что происходятъ упомянутыя въ приложеніи VIII дрожанія, когда величина n мало отличается отъ

$$\frac{1}{m} \sqrt{a^2 m - \frac{1}{4} b^2}.$$

Напротивъ членъ уравненія (4 а), умноженный на A, соотвѣтствуетъ продолжительному колебанію матеріальной точки. Живая сила i^2 этого движенія равна значенію *maximum*'а $\frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$, а именно:

$$i^2 = \frac{m A^2 \sin^2 \varepsilon}{2 b^4} \ldots\ldots\ldots\ldots (5).$$

Если теперь измѣняютъ высоту возбуждающаго тона, т. е. измѣняютъ

n, то i^2 достигнетъ своего *maximum*'а, который мы обозначимъ чрезъ I^2, когда

$$\sin^2 \varepsilon = 1 \text{ или } \operatorname{tang} \varepsilon = \pm \infty,$$

при чемъ

$$I^2 = \frac{m A^2}{2 b^4}.$$

Поэтому мы можемъ также написать

$$i^2 = I^2 \sin^2 \varepsilon \ldots\ldots\ldots\ldots (5\,a).$$

Итакъ та же величина ε опредѣляетъ въ уравненіи (4 а) разность фазъ между періодически измѣняющимися отклоненіями x матеріальной точки и мѣняющимися значеніями силы, а въ уравненіи (5 а) силу резонанса.

Условіе чтобы $\operatorname{tang} \varepsilon = \pm \infty$, будетъ исполнено по уравненію (4 b), когда

$$a^2 = m n^2.$$

Слѣдовательно, если мы обозначимъ значеніе n, соотвѣтствующее maximum'у соколебанія, чрезъ N, то

$$N^2 = \frac{a^2}{m} \ldots\ldots\ldots\ldots (5\,b).$$

Этотъ тонъ **сильнѣйшаго резонанса** равенъ тону, который бы давала соотвѣтствующая точка массы, если бы она была приведена въ колебаніе только подъ вліяніемъ упругой силы, безъ тренія и посторонняго возбужденія. Отъ этого то онъ немного различается отъ **собственнаго тона тѣла**, который оно издаетъ подъ вліяніемъ тренія и сопротивленія воздуха; высота ν этого собственнаго тона дана во второмъ членѣ уравненія (4 а)

$$\nu = \frac{1}{m} \sqrt{a^2 m - \frac{1}{4} b^2}.$$

Только при $b = 0$, т. е. когда исчезаютъ треніе и сопротивленіе воздуха,

$$\nu^2 = \frac{a^2}{m} = N^2.$$

Но во всѣхъ практическихъ случаяхъ, гдѣ мы наблюдаемъ явленія соколебанія, b безконечно мало, такъ что можно пренебречь разницею между тономъ сильнѣйшаго резонанса и собственнымъ тономъ колеблющагося тѣла; мы такъ и поступили въ текстѣ. При введеніи величины N, уравненіе (4 b) обращается въ

$$\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{b^2 n}{m (N^2 - n^2)} \ldots\ldots\ldots\ldots (4\,c)$$

ПРИЛОЖЕНІЕ X.

Соотношеніе между силою соколебанія и продолжительностью исчезновенія звука.

Къ стр. 198.

Мы можемъ сохранить употребленныя въ приложеніи IX обозначенія для движенія массы приводимой обратно въ ея положеніе равновѣсія посредствомъ упругой силы. Если подобная масса приводится въ сотрясеніе внѣшнею періодическою силою, то движеніе ея дано въ уравненіи (4 а).

Полагая что интенсивность A этой силы равна нулю, уравненіе (4 a) приведется къ

$$x = B e^{-\frac{b^2 t}{2m}} \sin(\nu t + c),$$

гдѣ

$$\nu = \frac{1}{m}\sqrt{a^2 m - \tfrac{1}{4} b^2}.$$

Величина x, вслѣдствіе множителя, содержащаго t въ показателѣ, становится все меньше и меньше. Измѣримъ t, какъ это дѣлалось въ текстѣ, по числу колебаній тона сильнѣйшаго резонанса, и положимъ

$$T = \frac{N}{2\pi} t$$

$$\beta = \frac{\pi b^2}{N m} = \pi \left(\frac{N}{n} - \frac{n}{N}\right) tang\,\varepsilon \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (6).$$

Если мы обозначимъ живую силу колебаній во время $t = 0$ чрезъ L, а во время t чрезъ l, то:

$$L = B^2 \nu^2$$

$$l = B^2 \nu^2 e^{-2\beta T}, \text{ слѣдовательно}$$

$$\frac{l}{L} = e^{-2\beta T} \text{ и}$$

$$T = \frac{1}{2\beta} \log nat \left(\frac{L}{l}\right) \; \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \; (6\,a).$$

Въ таблицѣ на стр. 198 было положено $L : l = 10 : 1$ и вычислена изъ этого величина T, послѣ того какъ предварительно была опредѣлена величина β посредствомъ уравненія (6). Но въ уравненіи (6) было поставлено $\sin^2 \varepsilon = \frac{1}{10}$ сообразно тому условію, что сила тона соколеблющагося тѣла должна составлять $\frac{1}{10}$ ея *maximum*'а, а для отношенія $N : n$ поставлены численныя отношенія, которыя соотвѣтствуютъ интерваламъ, обозначеннымъ въ первомъ столбцѣ таблицы. Вотъ какимъ образомъ была вычислена величина β.

Уравненіе (4 b) приложенія IX мы можемъ написать:

$$tang\,\varepsilon = \frac{b^2}{mN\left(\frac{N}{n} - \frac{n}{N}\right)} = \frac{\beta}{\pi\left(\frac{N}{n} - \frac{n}{N}\right)}.$$

Въ этомъ уравненіи могутъ измѣняться для различныхъ Кортіевыхъ волоконъ: N, опредѣляющая высоту тона сильнѣйшаго резонанса, b^2, опредѣляющая силу тренія, а также и масса m. Слѣдовательно, въ примѣненіи къ уху, b^2 и m нужно разсматривать какъ функціи отъ N. Такъ какъ теперь степень грубости болѣе тѣсныхъ диссонирующихъ звуковыхъ сочетаній при одинаковыхъ интервалахъ, приблизительно одна и таже во всей скалѣ, то величина $tang\,\varepsilon$, при одинаковыхъ значеніяхъ $\frac{N}{n}$ должна приблизительно принять тѣже значенія, а поэтому и величина $\frac{b^2}{mN} = \frac{\beta}{\pi}$ должна быть почти независима отъ значенія N; болѣе точныхъ выводовъ достигнуть нельзя. Поэтому въ послѣдующихъ вычисленіяхъ β разсматривается какъ независимое отъ N.

ПРИЛОЖЕНІЕ XI.

Колебанія membrana basilaris улитки.

Къ стр. 205.

Механическая задача, о рѣшеніи которой здѣсь идетъ дѣло, состоитъ въ изслѣдованіи: можетъ ли колебаться сложная перепонка, имѣющая свойства membrana basilaris улитки такимъ образомъ, какъ это предположилъ для этой послѣдней г. Генсенъ, а именно такъ, чтобы каждый пучекъ волоконъ (Faserbündel) перепонки соколебался съ тономъ, соотвѣтствующимъ его длинѣ и напряженію, при чемъ сосѣднія волокна небыли-бы приведены замѣтнымъ образомъ въ движеніе. При этомъ изслѣдованіи мы можемъ упускать изъ виду спиральное искривленіе membrana basilaris улитки и можемъ себѣ представить эту послѣднюю прямо натянутою между сторонами нѣкоего угла, величину котораго мы обозначимъ черезъ $2\,\eta$. Линія, дѣлящая его пополамъ, пусть будетъ осью x-въ а ось y-въ пусть будетъ къ ней проведена перпендикулярно чрезъ вершину угла. Напряженіе перепонки, параллельное оси x, пусть будетъ равно P, а параллельное оси y равно Q; оба напряженія измѣрены силами, которыми слѣдуетъ дѣйствовать на равныя единицы длины и параллельныя x и y стороны квадрата для того, чтобы удержать въ равновѣсіи напряженіе перепонки. Пусть масса такого вещественнаго квадрата будетъ μ, t время, а z отклоненіе нѣкоторой точки перепонки отъ ея положенія равновѣсія. Пусть Z будетъ внѣшнею силою, которая дѣйствуетъ на перепонку по направленію положительныхъ z и приводитъ ее въ колебанія. Тогда условіе движенія перепонки, которое можетъ быть выведено изъ принципа Гамильтона по способу Кирхгофа безъ особыхъ затрудненій, будетъ

$$Z + P\frac{d^2 z}{d x^2} + Q\frac{d^2 z}{d y^2} = \mu \frac{d^2 z}{d t^2}\Big\} \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (1).$$

Условія для предѣловъ суть: 1) чтобы z было равно нулю вдоль сторонъ угла, т. е. гдѣ

$$y = \pm x \; tang\; \eta,$$

2) чтобы z было равно нулю для $x = y = 0$, т. е. въ вершинѣ угла,

3) чтобы z была конечною при безконечно большихъ значеніяхъ x.

Дальнѣйшее изслѣдованіе намъ покажетъ, какимъ образомъ вмѣсто этихъ двухъ послѣднихъ предѣльныхъ условій, которыя достаточны для нашей цѣли могутъ также быть введены нѣкоторыя опредѣленныя кривыя въ качествѣ опредѣленныхъ предѣловъ между сторонами угла $2\,\eta$.

Уравненіе (1) можетъ быть приведено въ извѣстный видъ, если положимъ

$$x = \xi\sqrt{P} \text{ и } y = v\sqrt{Q}.$$

Тогда мы получимъ:

$$Z + \frac{d^2 z}{d \xi^2} + \frac{d^2 z}{d v^2} = \mu \frac{d^2 z}{d t^2}\Big\} \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (1\,a);$$

которое выражаетъ движеніе перепонки равномѣрно напряженной по всѣмъ направленіямъ и въ плоскости которой ξ и v суть прямоугольныя координаты.

При этомъ обозначеніи предѣльныя условія будутъ:

1) что $z = 0$ для

$$v = \pm \xi \sqrt{\frac{P}{Q}} \, . \; tang\; \eta.$$

2) что $z = 0$ для $\xi = v = 0$
3) z конечное для $\xi = \infty$.

Итакъ преобразованная задача отличается отъ первоначальной только тѣмъ, что въ этомъ случаѣ перепонка, напряжена равномѣрно и растянута въ углѣ другой величины (который мы обозначаемъ чрезъ $2\,\varepsilon$).

Такъ какъ въ примѣненіи, которое мы имѣемъ въ виду, P берется весьма малою относительно Q, то и уголъ ε, въ которомъ помѣщается принявшая другой видъ перепонка становится очень малымъ; на этомъ существенно основаны аналитическія трудности задачи.

Послѣ этихъ предварительныхъ замѣтокъ, мы вводимъ для аналитическаго выраженія уравненій (1) и (1 a) полярныя координаты, полагая

$$\left.\begin{aligned} x &= \xi \sqrt{P} = r \sqrt{P} \cdot \cos \omega \\ y &= v \sqrt{Q} = r \sqrt{Q} \cdot \sin \omega \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1\,b).$$

Отъ этого уравненія (1) и (1 a) получаютъ слѣдующій видъ:

$$\frac{d^2 z}{d r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d z}{d r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d^2 z}{d \omega^2} = \mu \frac{d^2 z}{d t^2} - Z \;, \ldots\ldots (1\,c).$$

Предѣльныя условія тѣ, что

1) $z = 0$ для $\omega = \pm \varepsilon$, причемъ

$$tang.\ \varepsilon = \sqrt{\frac{P}{Q}}\ tang.\ \eta,$$

2) $z = 0$ для $r = 0$
3) z конечная при r безконечномъ.

Что же касается до сущности силы Z, то мы принимаемъ, что она содержитъ одну часть, происходящую отъ тренія, которую мы можемъ положить равною $-\gamma \frac{d z}{d t}$, гдѣ γ обозначаетъ положительное вещественное постоянное; во вторыхъ, что окружающая среда производитъ равномѣрно періодически мѣняющееся давленіе на всю поверхность перепонки. Такимъ образомъ мы вставляемъ

$$Z = -\gamma \frac{d z}{d t} + A \cos (n t)$$

и получаемъ слѣдующее уравненіе движенія:

$$\frac{d^2 z}{d r^2} + \frac{1}{r} \frac{d z}{d r} + \frac{1}{r^2} \frac{d^2 z}{d \omega^2} = \mu \frac{d^2 z}{d t^2} + \nu \frac{d z}{d t} - A \cos (n t) \;.\;. (2).$$

Изъ возможныхъ движеній, которыя перепонка можетъ совершить при этихъ условіяхъ, насъ здѣсь интересуютъ только тѣ, которыя продолжительно поддерживаются продолжительно же дѣйствующею періодическою силою и которыя сами должны подчиняться тому же періоду. Если сообразно этому положимъ

$$z = \zeta e^{int} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\,a)$$

гдѣ

$$i = \sqrt{-1},$$

и если опредѣлимъ ζ изъ уравненія

$$\frac{d^2 \zeta}{d r^2} + \frac{1}{r} \frac{d \zeta}{d r} + \frac{1}{r^2} \frac{d^2 \zeta}{d \omega^2} + (\mu n^2 - i n \nu)\, \zeta = -A \;.\;.\;.\;. (2\,b)$$

то вещественная часть значенія z будетъ удовлетворять равенству (2) и соотвѣтствовать равномѣрно продолжающемуся колебанію перепонки.

Послѣ того, какъ перемѣнная t устранена такимъ образомъ изъ дифференціальнаго уравненія, тоже можетъ случиться, обращая вниманіе на

первыя предѣльныя условія и съ ω тѣмъ, что обратимъ, какъ ζ такъ и постоянное A, въ рядъ, расположенный по косинусамъ нечетныхъ кратныхъ угловъ $\frac{\pi \omega}{2 \varepsilon} = h \omega$. Извѣстно, что въ предѣлахъ $h \omega = + \frac{\pi}{2}$ и $- \frac{\pi}{2}$

$$A = \frac{4 A}{\pi} \left\{ \cos (h \omega) - \frac{1}{3} \cos (3 h \omega) + \frac{1}{5} \cos (5 h \omega) \text{ и т. д.} \right. \;.\;.\;. (3).$$

Если сообразно этому положимъ:

$$\zeta = s_1 \cos (h \omega) - \frac{1}{3} s_3 \cos (3 h \omega) + \frac{1}{5} s_5 \cos (5 h \omega) \text{ и т. д.} \;.\;.\;. (3\,a)$$

то для каждаго изъ этихъ s_m должно быть что

$$\left.\frac{d^2 s_m}{d r^2} + \frac{1}{r} \frac{d s_m}{d r} + \left(\mu n^2 - i n \nu - \frac{m^2 h^2}{r^2} \right) s_m = - \frac{4 A}{\pi} \right\} \;.\;. (3\,b),$$

и такъ какъ первое изъ нашихъ предѣльныхъ условій удовлетворено равенствомъ (3 a), если вообще рядъ сходящійся, то останутся только условія, что

1) $s_m = 0$ при $r = 0$
2) s_m конечное при $r = \infty$.

Что всякое s_m вполнѣ опредѣлено этими условіями, понять легко, потому что если бы существовали двѣ различныя функціи, которыя бы удовлетворяли равенству (3 b) и обоимъ предѣльнымъ условіямъ, то ихъ разность, которую мы обозначимъ чрезъ σ, удовлетворяла бы условіямъ:

$$\frac{d^2 \sigma}{d r^2} + \frac{1}{r} \frac{d \sigma}{d r} + \left(\mu n^2 - i n \nu - \frac{m^2 h^2}{r^2} \right) \sigma = 0 \;.\;.\;.\;.\;. (3\,c)$$

слѣдовательно было бы Бесселевою функціею, и одновременно было бы

1) $\sigma = 0$ для $r = 0$
2) σ конечное для $r = \infty$.

Для Бесселевыхъ функцій, въ которыхъ ν имѣетъ значеніе едва отличное отъ нуля, оба условія вмѣстѣ невозможны. Только тогда, когда $\nu = 0$, т. е. когда нѣтъ никакого тренія, данное опредѣленіе недостаточно. Дѣло въ томъ что тогда произведенныя разъ колебанія могутъ существовать безконечное время и въ томъ случаѣ, когда нѣтъ силы, которая бы имъ давала новые толчки

Частные интегралы уравненія (3 b) могутъ быть легко представлены въ видѣ рядовъ, подобно рядамъ Бесселевыхъ сродныхъ функцій, удовлетворяющихъ уравненію (3 c). Одинъ изъ этихъ рядовъ расположенъ по цѣлымъ степенямъ r и всегда сходящійся. Но если уголъ ε весьма малъ, то число членовъ этого ряда, нужное для опредѣленія величины s, становится очень велико, а поэтому и самый рядъ дѣлается негоднымъ для изслѣдованія хода функціи. Другой рядъ, расположенный по отрицательнымъ степенямъ r и дающій другой частный интегралъ, полусходящійся и представляетъ алгебраическую функцію если только h четное цѣлое число. Напротивъ первый упомянутый рядъ становится въ послѣднемъ случаѣ безконечнымъ въ отдѣльныхъ своихъ членахъ.

Поэтому для настоящей цѣли цѣлесообразнѣе составить искомое выраженіе для s въ формѣ опредѣленныхъ интеграловъ.

Обозначимъ чрезъ φ и ψ слѣдующіе оба интеграла.

$$\left.\begin{aligned}\psi &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-i\varkappa r \sin t} \sin(mht)\,dt\\ \varphi &= \int_1^{\infty} u^{-mh-1}\, e^{-\frac{i\varkappa r}{2}\left(u+\frac{1}{u}\right)} du\end{aligned}\right\}\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

гдѣ

$$\varkappa = \sqrt{\mu n^2 - i n \nu}\ldots\ldots\ldots\ldots (4\,a)$$

а знакъ предъ корнемъ выбранъ такимъ, чтобы вещественная часть $i\varkappa$ была бы положительною.

Тогда

$$s_m = \frac{4A}{\pi \varkappa^2}\left[mh.\psi + mh.\varphi.\cos\left(\frac{mh\pi}{2}\right) - 1\right]\ldots\ldots (4\,b)$$

будетъ искомое выраженіе для s_m.

Что данное равенствомъ (4 b) выраженіе удовлетворяетъ уравненію (3 b), это обнаруживается, если первое подставить въ послѣднее, и при дифференцированіи подъ знаками интеграловъ ψ и φ обратить вниманіе на то, чтобы уничтожить появляющіеся отъ частнаго интегрированія множители $\cos t$, относительно $\left(u - \frac{1}{u}\right)$.

Для $r = 0$ будетъ

$$\psi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(mht)\,dt = \frac{1}{mh}\left\{1 - \cos\frac{mh\pi}{2}\right\}$$

$$\varphi = \int_1^{\infty} \frac{du}{u^{mh+1}} = \frac{1}{mh},$$

слѣдовательно $s_m = 0$.

При $r = \infty$ будетъ $\varphi = \psi = 0$, слѣд.

$$s_m = -\frac{4A}{\pi\varkappa^2}.$$

Слѣдовательно функція s_m соотвѣтствуетъ также обоимъ положеннымъ для нея предѣльнымъ условіямъ, о которыхъ сказано выше, что онѣ достаточны для ея опредѣленія.

Теперь, посредствомъ уравненія (4 b), мы можемъ изслѣдовать, какимъ выходитъ значеніе s_m, когда P, напряженіе перепонки по направленію x, становится безконечно малымъ. Тогда, какъ это слѣдуетъ изъ уравненій (1 b), r становится безконечно большою, точно также какъ и h, коего значеніе

$$h = \frac{\pi\sqrt{Q}}{2\sqrt{P}\ tang\ \eta}.$$

Если же положимъ

$$r = h\rho$$

то g становится конечною величиною, именно:

$$\rho = \frac{2x.tang.\ \eta}{\pi\sqrt{Q}}.$$

Легко видѣть, что при этихъ условіяхъ $mh\varphi$ обращается въ нуль. Мы можемъ именно написать

$$mh\varphi = \int_1^{\infty} mh.e^{-mh\log u - (l - i\lambda)\cdot\frac{h\rho}{2}\left(u+\frac{1}{u}\right)}.\frac{du}{u}\Bigg\}\ldots (5)$$

гдѣ

$$i\varkappa = l - i\lambda$$

и гдѣ l, по сдѣланному выше предположенію, положительное. Такъ какъ въ предѣлахъ интегрированія $u > 1$ и также $\log u > 0$, то вездѣ, на этомъ протяженіи, вещественная часть показателя отрицательная и содержитъ безконечно большой множитель h. Слѣдовательно каждая часть интеграла исчезаетъ, а вмѣстѣ съ этимъ и все значеніе $h\varphi$.

Напротивъ въ интервалѣ ψ

$$\psi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-(l - i\lambda).h\rho.\sin t} \sin(mht)\cdot dt$$

хотя вещественная часть показателя и становится также отрицательною безконечностью для всѣхъ тѣхъ частей интеграла для которыхъ t не безконечно малое, и слѣдовательно всѣ эти части становятся равными нулю, но это не относится къ тѣмъ частямъ интеграла, для которыхъ исчезаетъ t.

Поэтому вышеупомянутое выраженіе ψ для безконечно большаго h, можно замѣнить слѣдующимъ:

$$\psi = \int_0^{\infty} e^{-(l - i\lambda).h\rho t}.\sin(mht)\,dt.$$

Въ послѣднемъ выраженіи можетъ быть выполнено интегрированіе, которое даетъ:

$$\psi = \frac{m}{h\,[(l - i\lambda)^2\rho^2 + m^2]}\Bigg\}\ldots\ldots\ldots\ldots (5\,a)$$

и

$$s_m = \frac{4A\rho^2}{\pi\,[m^2 - \rho^2\varkappa^2]}$$

или, принимая во вниманіе (4 a)

$$s_m = \frac{4A\rho^2}{\pi\,[m^2 - \rho^2\mu n^2 + i\rho^2 n\nu]}\Bigg\}\ldots\ldots\ldots (5\,b).$$

Или, если мы, для устраненія изъ этихъ выраженій вспомогательной величины ρ, обозначимъ значеніе y на предѣлѣ перепонки чрезъ $\frac{\beta}{2}$, то

$$\frac{\beta}{2} = x\,tang.\ \eta,$$

слѣдовательно

$$\rho = \frac{\beta}{\pi \sqrt{Q}}$$

$$S_m = \frac{4A}{\pi \sqrt{\left(\frac{m^2\pi^2 Q}{\beta^2} - \mu n^2\right)^2 + n^2 \nu^2}} \Bigg\} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5\,d).$$

Это выраженіе совершенно независимое отъ величины угла, занимаемаго перепонкою. Вмѣсто разстоянія ρ или x отъ вершины, въ немъ только встрѣчается ширина β поражаемаго мѣста перепонки. Слѣдовательно это выраженіе останется въ силѣ и тогда, когда уголъ сдѣлается равнымъ нулю, и когда перепонка колеблется, подобно струнѣ, между двумя параллельными линіями и образуетъ при этомъ m колеблющихся частей, отдѣленныхъ узловыми линіями, параллельными краямъ.

Впрочемъ, если въ уравненіи (1) разсматриваютъ z съ самаго начала только какъ функцію одного y, полагая ее независимою отъ x и удерживаютъ однако въ видѣ предѣльнаго условія чтобы для $y = \pm\beta$ имѣло бы мѣсто равенство $z = 0$, то получается тоже выраженіе и для струны. И такъ, движеніе перепонки таково, какъ будто бы она состояла изъ ряда лежащихъ другъ возлѣ друга и не соединенныхъ между собою струнъ.

Значеніе $\frac{1}{m} S_m$ въ (5 d) даетъ намъ амплитуду воспроизводимой формы колебанія съ числомъ колебаній $\frac{n}{2\pi}$ и съ m колеблющимися поперечными отдѣлами перепонки. Maximum S_m наступитъ при

$$m^2\pi^2 Q - \beta^2 \mu n^2 = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6).$$

Самое значеніе этого *maximum'a* которое мы обозначимъ чрезъ $\mathfrak{S}$, есть

$$\mathfrak{S} = \frac{4A}{\pi n \nu}.$$

Чѣмъ меньше коефиціентъ тренія ν, тѣмъ maximum въ пораженномъ мѣстѣ будетъ больше.

Если мы обозначимъ чрезъ b значеніе β, удовлетворяющее равенству (6), то равенство (5 d) мы можемъ написать

$$S_m = \frac{\mathfrak{S}}{\sqrt{1 + \frac{m^4\pi^4 Q^2}{n^2\nu^2}\left[\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{b^2}\right]^2}}.$$

Какъ только ν безконечно малое и въ равенствѣ (6) не выполнено условіе *maximum'a*, то знаменатель этого выраженія становится безконечно большимъ и слѣдовательно S_m безконечно малою. Амплитуда колебаній $\frac{1}{m} S_m$ сохраняетъ конечное значеніе только для тѣхъ значеній β, которыя столь близки къ b, что $b - \beta$ того же порядка какъ и ν. Слѣдовательно, при этихъ условіяхъ, каждымъ простымъ тономъ будутъ приведены въ колебаніе по направленію x, только нѣкоторыя узкія полосы перепонки, изъ которыхъ первая имѣетъ одинъ колеблющійся отдѣлъ, вторая два, третья три и т. д. и въ которыхъ величина $\frac{\beta}{m}$, т. е. длина колеблющихся отдѣловъ, имѣетъ вездѣ одинаковое значеніе.

Чѣмъ больше коэфиціентъ тренія ν, тѣмъ больше вообще распространятся по перепонкѣ колебанія каждаго тона.

Приведенный здѣсь математическій анализъ показываетъ, что каждый издаваемый тонъ долженъ также возбудить всѣ тѣ поперечные ряды волоконъ перепонки, въ которыхъ онъ долженъ проявиться какъ собственный тонъ съ образованіемъ узловыхъ линій.

Изъ этого бы слѣдовало, что если бы перепонка лабиринта была совершенно равномѣрной конструкціи, какъ предположенная здѣсь перепонка, то всякое возбужденіе поперечнаго пучка волоконъ (Querfaserbündel), издаваемымъ основнымъ тономъ, должно было бы быть сопровождаемо болѣе слабыми возбужденіями нечетныхъ нижнихъ гармоническихъ тоновъ, коихъ сила дѣйствительно была-бы помножена на множители $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{25}$ и вообще на $\frac{1}{m^2}$. Касательно этого въ ухѣ ничего не замѣчается. Однако я полагаю, что это не слѣдуетъ разсматривать какъ противорѣчіе приведенной здѣсь теоріи, такъ какъ по всей вѣроятности образованіе тоновъ съ узловыми линіями очень затруднено придаточными образованіями membrana basilaris.

Нетрудно также распространить рѣшеніе на тотъ случай, когда перепонка ограничена въ плоскости ξ и υ двумя двумя круговыми дугами, центръ, которыхъ находится въ вершинѣ угла ε. Этому соотвѣтствуютъ въ дѣйствительности, т. е. въ плоскости x и y, двѣ эллиптическія предѣльныя дуги которыя, когда P исчезаетъ, обращаются въ прямыя линіи. Къ значенію s_m въ (4 b) слѣдуетъ только присоединить еще полный интегралъ уравненія (3 c), который можно изобразить Бесселевыми функціями съ двумя произвольными постоянными. Послѣднія слѣдуетъ опредѣлить такъ, чтобы s_m сдѣлалось равною нулю для избранныхъ предѣльныхъ кривыхъ. Когда ν мало, то это измѣненіе предѣловъ не имѣетъ существеннаго вліянія на движеніе перепонки, кромѣ того случая, когда этотъ maximum колебанія приходится вблизи самихъ предѣловъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ XII.

Теорія комбинаціонныхъ тоновъ.

Къ стр. 215.

Извѣстно, что принципъ ненарушимаго наложенія колеблющихся движеній вообще имѣетъ мѣсто только до тѣхъ поръ, пока движенія столь малы что ихъ силы, вызываемыя обоюдными перемѣщеніями малѣйшихъ частей колеблющагося медіума сами замѣтно пропорціональны этимъ перемѣщеніямъ. Теперь можно доказать что коль скоро колебанія становятся столь значительными, что на движеніе имѣетъ вліяніе и квадратъ перемѣщеній, то должны произойти комбинаціонные тоны. Пока будетъ достаточно разсмотрѣть, въ видѣ простаго примѣра, движеніе отдѣльной точки массы подъ вліяніемъ волнообразной системы; этимъ можно достигнуть результата и для всего движенія. Совершенно подобнымъ же способомъ могутъ быть также обсуждены движенія воздуха или другихъ упругихъ средъ. Положимъ что точка массы m колеблется по

направленію оси x. Пусть сила, стремящаяся ее снова привести въ положеніе равновѣсія, будетъ

$$k = a x + b x^2.$$

Пусть на нее дѣйствуютъ двѣ системы звуковыхъ волнъ съ силою $f \sin (p t)$ и $g \sin (q t + c)$, тогда уравненіе ея движенія будетъ

$$-m \frac{d^2 x}{d t^2} = a x + b x^2 + f \sin (p t) + g \sin (q t + c).$$

Это уравненіе можно интегрировать посредствомъ ряда, полагая въ немъ

$$x = \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \varepsilon^3 x_3 + \text{и т. д.}$$
$$f = \varepsilon f_1$$
$$g = \varepsilon g_1$$

и полагая что члены, умноженные на одинаковыя степени ε, въ отдѣльности равны нулю, слѣдовательно:

1) $a x_1 + m \frac{d^2 x_1}{d t^2} = -f_1 \sin (p t) - g_1 \sin (q t + c)$,

2) $a x_2 + m \frac{d^2 x_2}{d t^2} = -b x_1^2$;

3) $a x_3 + m \frac{d^2 x_3}{d t^2} = -2 b x_1 x_2$ и т. д.

Изъ перваго уравненія получается:

$$x_1 = A \sin \left(t \sqrt{\frac{a}{m}} + b \right) + u \sin (p t) + v \sin (q t + c),$$

при чемъ

$$u = \frac{f_1}{m p^2 - a} \text{ и } v = \frac{g_1}{m q^2 - a}.$$

Это извѣстный выводъ для безконечно малыхъ колебаній, по которому соколеблющееся тѣло издаетъ только свой собственный тонъ $\sqrt{\frac{a}{m}}$ и ему сообщенные p и q. Такъ какъ собственный тонъ при этомъ скоро исчезаетъ, то мы можемъ положить $A = 0$. Тогда уравненіе (2) даетъ

$$x_2 = -\frac{b}{2 a} (u^2 + v^2) - \frac{u^2}{2(4 m p^2 - a)} \cos (2 p t)$$
$$- \frac{u^2}{2(4 m q^2 - a)} \cos 2 (q t + c) + \frac{u v}{m (p - q)^2 - a} \cos [(p - q) t - c]$$
$$- \frac{u v}{m (p + q)^2 - a} \cos [(p + q) t + c].$$

Этотъ второй членъ ряда x содержитъ, какъ видно, кромѣ постоянной, тоны $2 p$, $2 q$, $(p - q)$ и $(p + q)$. Если собственный тонъ $\sqrt{\frac{a}{m}}$ соколеблющагося тѣла ниже $(p - q)$, какъ это можно предположить въ большинствѣ случаевъ для барабанной перепонки находящейся въ связи съ слуховыми косточками, и если силы u и v приблизительно одинаковы, то изъ отдѣльныхъ членовъ x_2, тонъ $(p - q)$ будетъ имѣть наибольшую силу; онъ соотвѣтствуетъ извѣстному низкому комбинаціонному тону. Тонъ $(p + q)$ будетъ гораздо слабѣе а тоны $2 p$ и $2 q$ какъ слабые верхніе гармоническіе тоны начальныхъ тоновъ будутъ также трудно слышимы.

Третій членъ ряда x_3 содержитъ тоны: $3 p$, $3 q$, $2 p + q$, $2 p - q$, $p + 2 q$, $p - 2 q$, p и q. Изъ этихъ, $2 p - q$ и $2 q - p$ комбинаціонные тоны втораго порядка по обозначенію Гельстрёма. Такимъ образомъ четвертый членъ x_4 даетъ комбинаціонные тоны третьяго порядка и т. д.

Если мы теперь предположимъ, что при колебаніяхъ барабанной перепонки и ея придатковъ квадратъ элонгацій пріобрѣтаетъ вліяніе на колебанія, то сдѣланныя механическія изслѣдованія даютъ намъ полное разрѣшеніе вопроса о происхожденіи комбинаціонныхъ тоновъ. Новѣйшая теорія одинаково хорошо поясняетъ какъ происхожденіе тоновъ $(p + q)$, такъ и $(p - q)$, и даетъ понятіе о томъ, почему, при увеличенной силѣ u и v начальныхъ тоновъ, сила комбинаціонныхъ тоновъ пропорціональная $u v$ возрастаетъ скорѣе.

Изъ предположенія, которое мы сдѣлали выше, о величинѣ дѣйствующей силы

$$k = a x + b x^2$$

слѣдуетъ, что при измѣненіи знака x, k измѣняетъ не только свой знакъ но и свое абсолютное значеніе. Слѣдовательно это предположеніе подходитъ только къ такому упругому тѣлу, которое не симметрично относительно положительныхъ и отрицательныхъ перемѣщеній; квадратъ элонгацій можетъ имѣть вліяніе на движенія и вызвать комбинаціонные тоны перваго порядка только для такого тѣла. Среди колеблющихся частей, находящихся въ человѣческомъ ухѣ, особенно отличается своею несимметричностью барабанная перепонка тѣмъ, что она сильно втянута рукояткою молоточка вовнутрь и поэтому я считаю себя вправѣ сдѣлать предположеніе что эта особая форма барабанной перепонки обусловливаетъ происхожденіе комбинаціонныхъ тоновъ.

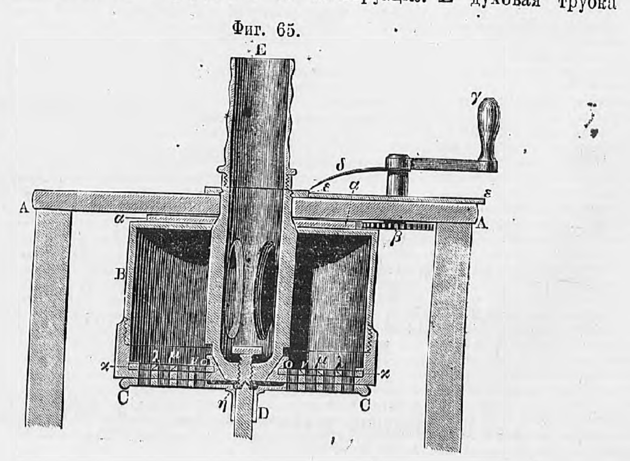
ПРИЛОЖЕНІЕ XIII.

Описаніе механизма, служащаго для открыванія въ многоголосной сиренѣ отдѣльныхъ рядовъ отверстій.

Къ стр. 230.

На фиг. 65 изображенъ поперечный разрѣзъ верхней коробки двойной сирены, показывающій внутреннюю ея конструкцію. E духовая трубка

Фиг. 65.



продолжающаяся во внутрь коробки и вдѣланная въ верхнюю перекладину станка AA. Продолженіе духовой трубки, входящее въ коробку, имѣетъ на верхней и нижней оконечности конусообразныя поверхности, на которыхъ скользятъ соотвѣтствующіе вырѣзы дна и крышки коробки, такъ что послѣдняя можетъ свободно вращаться вокругъ трубки какъ около оси. Въ α видѣнъ поперечный разрѣзъ зубчатаго колеса прикрѣпленнаго къ дну коробки. Въ β находится зубчатое колесо захватывающее x и приводимое въ движеніе рукояткою γ; δ стрѣлка, направленная къ дѣленіямъ краевъ кружка $\varepsilon\varepsilon$.

D верхняя оконечность оси подвижныхъ круговъ, изъ которыхъ здѣсь видѣнъ верхній CC. Ось вращается на тонкихъ остріяхъ въ конусообразныхъ гнѣздахъ. Верхнее гнѣздо находится на нижней оконечности винта η, который можетъ быть болѣе или менѣе ввинчиваемъ посредствомъ отвертки, чѣмъ и придается оси желаемая легкость движенія.

Внутри коробки видны поперечные разрѣзы четырехъ просверленныхъ колецъ $\varkappa\,\lambda$, $\lambda\,\mu$, $\mu\,\nu$ и $\nu\,o$, захватывающихъ другъ друга скошенными краями на подобіе черепицъ, чѣмъ и достигается ихъ соединеніе. Каждое изъ этихъ колецъ соотвѣтствуетъ одному изъ рядовъ отверстій крышки и содержитъ въ точности столько же отверстій сколько и соотвѣтствующій рядъ крышки и вращающагося кружка. Помощью штифтиковъ $i\,i$, которые видны на фигурѣ 56, изображенной на страницѣ 229, эти четыре кольца могутъ быть немного сдвинуты, такъ что,—или отверстія кольца совпадутъ съ отверстіями коробки, при чемъ воздухъ будетъ имѣть свободный выходъ и получается соотвѣтствующій тонъ;—или же кольцо установится такъ, что промежутки между его отверстіями закроютъ отверстіе крышки; тогда соотвѣтствующій рядъ отверстій закроется и тонъ его очевидно исчезнетъ.

Такимъ образомъ можно издать тоны сирены или отдѣльно одинъ за другимъ, или же вмѣстѣ.

ПРИЛОЖЕНІЕ XIV.

Измѣненіе высоты тона при дрожаніяхъ простыхъ тоновъ.

Къ стр. 234.

Пусть v будетъ скоростью частицы, колеблющейся подъ вліяніемъ двухъ тоновъ

$$v = A \sin (m t) + B \sin (n t + c),$$

въ которой пусть m очень мало отличается отъ n и $A > B$. Тогда мы можемъ положить

$$n t + c = m t - [(m - n) t - c]$$

$$v = \left\{A + B \cos [(m - n)\ t - c]\right\} \sin (m t) - B \sin [(m - n)\ t - c] \cos (m t).$$

Если положимъ

$$A + B \cos [(m - n)\ t - c] = C \cos \varepsilon$$
$$B \sin [(m - n)\ t - c] = C \sin \varepsilon,$$

то

$$v = C \sin (m t - \varepsilon),$$

гдѣ C и ε суть медленно измѣняющіяся функціи времени t, если, какъ это предположено, $m - n$ сравнительно съ m величина малая.

Сила С этого колебанія

$$C^2 = A^2 + 2 A B \cos [(m - n)\ t - c] + B^2.$$

Она обращается въ maximum

$$C^2 = (A + B)^2, \text{ когда } \cos [(m - n)\ t - c] = + 1,$$

напротивъ въ minimum

$$C^2 = (A - B)^2, \text{ когда } \cos [(m - n)\ t - c] = - 1.$$

Измѣняющаяся фаза ε этого движенія дается слѣдующимъ уравненіемъ:

$$tang\, \varepsilon = \frac{B \sin [(m - n)\ t - c]}{A + B \cos [(m - n)\ t - c]}.$$

Если $A > B$, то тангенсъ этотъ никогда не становится безконечно большимъ и поэтому ε остается во всякомъ случаѣ заключенною между предѣлами $+\frac{\pi}{2}$ и $-\frac{\pi}{2}$, къ которымъ она попеременно приближается. Пока величина ε возрастаетъ, $m t - \varepsilon$ возрастаетъ медленнѣе чѣмъ $m\,t$; когда же ε убываетъ, то $m t - \varepsilon$ возрастаетъ быстрѣе; слѣдовательно въ первомъ случаѣ тонъ будетъ ниже, во второмъ же выше.

Число колебаній перемѣннаго тона, умноженное при этихъ условіяхъ на 2π, равно

$$m - \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{m A^2 + (m + n) A B \cos [(m - n) t - c] + n B^2}{A^2 + 2 A B \cos [(m - n) t - c] + B^2}.$$

Предѣльныя значенія этого выраженія будутъ въ томъ случаѣ, когда $\cos [(m - n) t - c]$ достигнетъ своихъ предѣльныхъ значеній $+1$ и -1, слѣдовательно когда и сила тона будетъ maximum или minimum.

1.) Когда сила тона въ maximum, то число колебаній

$$\frac{m A + n B}{A + B} = m - \frac{(m - n) B}{A + B} = n + \frac{(m - n) A}{A + B}.$$

2.) Когда же сила тона въ minimum, то число колебаній

$$\frac{m A - n B}{A - B} = m + \frac{(m - n) B}{A - B} = n + \frac{(m - n) A}{A - B}.$$

Слѣдовательно въ первомъ случаѣ, высота перемѣннаго тона лежитъ между высотами обоихъ отдѣльныхъ тоновъ. Напротивъ во время minimum силы тона, она выше обоихъ отдѣльныхъ тоновъ, если сильнѣйшій тонъ одновременно и самый высокій; напротивъ, она ниже обоихъ, если сильнѣйшій тонъ самый низкій.

Эти различія хорошо слышать помощью двухъ закрытыхъ органныхъ трубокъ, или же при двухъ камертонахъ если попеременно приближаютъ къ усиливающей трубкѣ то высшій, то низшій.

ПРИЛОЖЕНІЕ XV.

Вычисленіе силы дрожаній различныхъ интерваловъ.

Къ стр. 269 и 274.

Мы снова воспользуемся формулами (4 a), (4 b), (5) и (5 a), приведенными для силы соколебанія въ приложеніи IX. Пусть n будетъ числомъ колебаній въ 2π секундъ для тона сильнѣйшаго резонанса одного элемен-

тарнаго Кортіева органа, n_1 и n_2 соотвѣтствующія числа колебаній обоихъ начальныхъ тоновъ, а $\mathfrak{B}_1$ и $\mathfrak{B}_2$ maximum'ы скоростей колебаній, которыя они производятъ въ Кортіевыхъ органахъ одинаковой настройки; такимъ образомъ maximum'ы скоростей B_1 и B_2, воспроизводимыхъ обоими въ образованіи числа колебаній n, по уравненію (5 a) прилож. IX, выразятся такъ:

$$B_1 = \mathfrak{B}_1 \sin \varepsilon_1$$
$$B_2 = \mathfrak{B}_2 \sin \varepsilon_2$$

въ которыхъ:

$$\pi \operatorname{tang} \varepsilon_1 = \frac{\beta}{\frac{n}{n_1} - \frac{n_1}{n}} \text{ и } \pi \operatorname{tang} \varepsilon_2 = \frac{\beta}{\frac{n}{n_2} - \frac{n_2}{n}}$$

Въ нихъ β величина, которую мы можемъ разсматривать какъ независимую отъ n. Поэтому сила колебаній органа съ числомъ колебаній n, мѣняется, когда оба тона n_1 и n_2 дѣйствуютъ вмѣстѣ между величинами:

$$(B_1 + B_2)^2 \text{ и } (B_1 - B_2)^2.$$

Разность обѣихъ величинъ, измѣряющая силу дрожаній есть:

$$4 B_1 B_2 = 4 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2 \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

И такъ при одинаковыхъ различіяхъ въ настройкѣ, сила дрожаній зависима отъ произведенія $\mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2$. Мы можемъ положить $\mathfrak{B}^2 = \frac{\mathfrak{A}^2}{m^2}$ по приложенію VI для 3-го верхняго тона звука скрипки, и слѣдовательно если m_1-й и m_2-й верхніе тоны двухъ скрипичныхъ звуковъ даютъ дрожанія, то мы можемъ положить силу ихъ дрожаній при одинаковыхъ разницахъ интерваловъ равною

$$\frac{\mathfrak{A}^2}{m_1 m_2}.$$

Это выраженіе служило основаніемъ вычисленія послѣдняго столбца таблицы на стр. 269.

Для приведеннаго на стр. 274 и 275 вычисленія грубости различныхъ интерваловъ мы вводимъ еще слѣдующія сокращенныя обозначенія:

$$n_1 + n_2 = 2N,$$
$$n_1 = N(1+\delta),$$
$$n_2 = N(1-\delta),$$
$$n = N(1+\nu).$$

Тогда

$$\pi \operatorname{tang} \varepsilon_1 = \frac{\beta}{\frac{1+\nu}{1+\delta} - \frac{1+\delta}{1+\nu}}, \quad \pi \operatorname{tang} \varepsilon_2 = \frac{\beta}{\frac{1+\nu}{1-\delta} - \frac{1-\delta}{1+\nu}}.$$

Такъ какъ сильное соколебаніе имѣетъ мѣсто только тогда, когда ν и δ очень малы, то можно приблизительно положить

$$\operatorname{tang} \varepsilon_1 = \frac{\beta}{2\pi(\nu - \delta)}, \quad \operatorname{tang} \varepsilon_2 = \frac{\beta}{2\pi(\nu + \delta)}.$$

Эти значенія вставленныя въ уравненіе (7), даютъ:

$$4 B_1 B_2 = 4 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2 \frac{\beta^2}{\sqrt{\beta^2 + 4\pi^2(\nu-\delta)^2}\sqrt{\beta^2 + 4\pi^2(\nu+\delta)^2}} \quad \ldots\ldots (7\,a).$$

Если мы теперь будемъ разсматривать ν, т. е. высоту тона соколеблющагося Кортіеваго органа, какъ перемѣнное, то значеніе $4 B_1 B_2$ достиг-

нетъ своего *maximum*'а, когда $\nu = 0$, слѣдовательно $n = N = \frac{1}{2}(n_1 + n_2)$, а самое значеніе *maximum*'а, которое мы обозначимъ чрезъ s, будетъ:

$$s = 4 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2 \frac{\beta^2}{\beta^2 + 4\pi^2\delta^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7\,b).$$

При вычисленіи степени грубости, даваемою звуковымъ сочетаніемъ двухъ тоновъ, удаленныхъ другъ отъ друга на интервалъ 2δ, я довольствовался тѣмъ, что обращалъ вниманіе на найденное здѣсь значеніе *maximum*'а дрожаній, имѣющее мѣсто на болѣе благопріятно расположенномъ Кортіевомъ органѣ. Правда, что болѣе слабыя дрожанія могутъ еще воспроизводиться и въ сосѣднихъ волокнистыхъ дугахъ, но за то съ быстро убывающею силою. Поэтому можно полагать, что было бы точнѣе проинтегрировать относительно ν значеніе $4 B_1 B^2$ въ уравненіи (7 a) для того чтобы получить сумму дрожаній во всѣхъ Кортіевыхъ органахъ. Но тогда надо было бы еще имѣть какое бы то нибыло по крайней мѣрѣ приблизительное свѣдѣніе о плотности Кортіевыхъ органовъ для различныхъ значеній ν, т. е. для различныхъ частей скалы, которыя мы еще не имѣемъ. Во всякомъ случаѣ сильнѣйшая степень грубости въ ощущеніи имѣетъ болѣе значенія, чѣмъ распространеніе на многіе чувствующіе органы болѣе слабой грубости. Поэтому я предпочелъ принимать во вниманіе только maximum дрожаній, данный въ (7 b).

Наконецъ слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что весьма медленныя дрожанія не даютъ грубости; что при одинаковой силѣ дрожаній и при возрастающемъ ихъ числѣ она достигаетъ maximum и потомъ снова убываетъ. Для того чтобы это выразить, слѣдуетъ еще умножить величину s на множителя, который становится равнымъ нулю, если число дрожаній очень мало и который достигаетъ своего maximum'а примѣрно при 30 дрожаніяхъ и потомъ снова убываетъ чтобы сдѣлаться равнымъ нулю для безконечнаго числа дрожаній. И такъ положимъ, что грубость r, происходящая отъ α-аго верхняго тона, равна

$$r_\alpha = \frac{4 \vartheta^2 \delta^2 \alpha^2}{(\vartheta^2 + \alpha^2 \delta^2)^2} s_\alpha.$$

Множитель при s достигаетъ своего maximum'а 1, когда $\alpha\delta = \vartheta$ обращается въ 0; когда δ, обозначающая половину отстоянія обоихъ тоновъ въ гаммѣ, становится равною 0 или ∞. Такъ какъ все равно, положительное ли δ или отрицательное, то выраженіе должно быть сдѣлано четною функціею отъ δ; это простѣйшее выраженіе, удовлетворяющее даннымъ условіямъ, но оно конечно до нѣкоторой степени произвольное.

Для ϑ слѣдуетъ вставить половину ширины того интервала, который даетъ 30 дрожаній въ секунду при высотѣ низшаго основнаго тона.

Такъ какъ мы приняли за основной тонъ c' съ 264 колебаніями, то ϑ было принято равнымъ $\frac{15}{264}$. Слѣдовательно окончательно

$$r_\alpha = 16 \mathfrak{B}_1 \mathfrak{B}_2 \frac{\beta^2 \vartheta^2 \delta^2 \alpha^2}{(\beta^2 + 4\pi^2\delta^2)(\vartheta^2 + \alpha^2\delta^2)}.$$

По этой формулѣ, въ діаграммахъ фиг. 60 A и B стр. 274, вычислены происходящія отъ отдѣльныхъ верхнихъ тоновъ грубости интерваловъ и сложены другъ съ другомъ какъ это показано на чертежѣ.

Если точность этой теоріи оставляетъ за собою желать многаго, то все таки она достаточна, чтобы показать, что приведенное нами теоретическое воззрѣніе можетъ дѣйствительно пояснить естественное распредѣленіе консонансовъ и диссонансовъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ XVI.

Дрожанія комбинаціонныхъ тоновъ.

Къ стр. 282.

Пусть a, b, c, d, e, f, g, h будутъ цѣлыми числами. Пусть числа колебаній двухъ одновременно изданныхъ звуковъ, будутъ an и $bn+\delta$, гдѣ δ предполагается весьма малымъ относительно n, а a и b суть наименьшія цѣлыя числа, въ которыхъ можетъ быть выражено отношеніе $a:b$. Числа колебаній двухъ верхнихъ тоновъ этихъ звуковъ будутъ

$$acn \text{ и } bdn+d\delta.$$

Они дадутъ другъ съ другомъ дрожанія, коихъ число $d\delta$, или

$$ac=bd$$

или

$$\frac{a}{b}=\frac{d}{c}$$

Такъ какъ отношеніе $\frac{a}{b}$ должно быть выражено въ наименьшихъ числахъ, то d и c не могутъ имѣть меньшихъ значеній, какъ

$$d=a \qquad c=b,$$

остальныя значенія суть:

$$d=ha \quad c=hb.$$

c и d означаютъ теперь числа по порядку частныхъ тоновъ, дающихъ другъ съ другомъ дрожанія; слѣдовательно нижайшіе тоны этого рода будутъ: тонъ мѣста b звука an, и тонъ мѣста a звука $(bn+\delta)$. Число даваемыхъ ими дрожаній $a\delta$.

Точно такимъ же образомъ $2b$-вый частный тонъ перваго и $2a$-вый втораго звука даютъ $2a\delta$ дрожаній и т. д.

Оба верхніе тона

$$acn \text{ и } bdn+d\delta$$

даютъ комбинаціонный тонъ (первый разностный тонъ)

$$\pm[(bd-ac)n+d\delta]$$

при чемъ слѣдуетъ избрать такой знакъ, чтобы величина всего выраженія была положительною.

Два другіе верхніе тона (fan) и $(gbn+g\delta)$ даютъ комбинаціонный тонъ:

$$\pm[(gb-af)n+g\delta].$$

При совмѣстномъ звучаніи оба дадутъ $(g\mp d)\delta$ дрожаній, если

$$bd-ac=\pm[gb-af]$$

или

$$\frac{a}{b}=\frac{g\mp d}{f\mp c}.$$

Наименьшее значеніе $g\mp d$ равно какъ и прежде a, остальныя же большія $=ha$, слѣдовательно наименьшее число дрожаній $a\delta$.

Для того, чтобы найти нижайшіе верхніе тоны, коихъ присутствіе можетъ вызвать дрожанія съ первыми разностными тонами, мы выбираемъ для c и d нижній знакъ; тогда мы получимъ:

$$g=d=\frac{a}{2} \text{ или } g=\frac{a+1}{2} \text{ или } d=\frac{a-1}{2},$$

$$f=c=\frac{b}{2} \text{ или } f=\frac{b+1}{2} \text{ или } c=\frac{b-1}{2}$$

смотря потому будутъ ли a и b четныя или нечетныя числа. Если b большее число, то $\frac{b}{2}$ или $\frac{b+1}{2}$ будетъ число частныхъ тоновъ, которое каждый звукъ долженъ имѣть для того, чтобы давать дрожанія интервала; тогда какъ не принимая во вниманіе комбинаціонныхъ тоновъ, было бы приблизительно необходимо двойное число, именно b.

Если сходятся простые тоны, то дрожанія происходятъ отъ комбинаціонныхъ тоновъ высшаго порядка. Общее выраженіе для разностнаго тона высшаго порядка двухъ тоновъ съ числомъ колебаній n и m есть $\pm[an-bm]$, а именно когда этотъ тонъ порядка $(a+b-1)$. Пусть число колебаній комбинаціоннаго тона порядка $(c+d-1)$ тоновъ an и $[bn+\delta]$ будетъ:

$$\pm[(bd-ca)\,.\,n+d\delta],$$

а другаго тона порядка $(f+g-1)$:

$$\pm[(gb-fa)\,.\,n+g\delta];$$

оба даютъ $(g\mp d)\,\delta$ дрожаній, когда

$$bd-ac=\pm[bg-af] \text{ или когда}$$

$$\frac{a}{b}=\frac{g\mp d}{f\mp c}.$$

Слѣдовательно наименьшее число дрожаній снова $a\delta$; наименьшія значенія c, d, f, g находятся въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, т. е. мѣста по порядку комбинаціонныхъ тоновъ не должны сдѣлаться больше $\frac{a+b-2}{2}$, когда a и b нечетные, или $\frac{a+b-1}{2}$, когда одинъ изъ нихъ четный.

Мнѣ желательно здѣсь дополнить къ VII-й главѣ, о происхожденіи комбинаціонныхъ тоновъ, слѣдующее:

Во первыхъ, комбинаціонные тоны должны происходить всюду, гдѣ отклоненіе колеблющихся частей отъ ихъ положенія равновѣсія становится столь большимъ, что сила, стремящаяся ихъ снова привести въ положеніе равновѣсія уже не просто пропорціональна этимъ отклоненіямъ. (Смотри математическій анализъ колеблющейся точки массы въ приложеніи XII). Тоже самое имѣетъ мѣсто и для воздушныхъ колебаній величины конечной; главныя черты теоріи даны въ моей статьѣ «о теоріи воздушныхъ колебаній въ трубкахъ съ открытыми концами» (Crell's Journal für Mathematik. Томъ LVII, стр. 14). Но я хочу еще здѣсь обратить вниманіе на третій случай, т. е. когда комбинаціонные тоны могутъ происходить и при безконечно малыхъ колебаніяхъ, что уже было упомянуто выше (стр. 220 до 224). Это происходитъ на сиренахъ и на гармоніонѣ. Здѣсь мы имѣемъ отверстія, періодически мѣняющейся величины и на одной сторонѣ большее давленіе воздуха, чѣмъ на другой. Такъ какъ здѣсь всегда идетъ дѣло только о весьма малыхъ разницахъ давленія, то мы будемъ имѣть право предположить, что масса вырывающагося воздуха q пропорціональна величинѣ отверстія ω и разницѣ давленія p, такъ что

$$q=c\,\omega\,p$$

гдѣ c постоянное.

Если мы теперь положимъ для ω простѣйшую періодическую функцію, выражающую періодическое замыканіе и открываніе, т. е.

$$\omega=A\,[1-\sin 2\pi n t]$$

и примемъ p за постоянное, полагая, что ω столь мало и притокъ возду-

ха на столько достаточенъ, что періодическая потеря отъ открыванія не измѣняетъ существенно давленія, то q будетъ имѣть видъ

$$q = B\,[1 - \sin\,2\,\pi\,n\,t]$$
$$B = c\,A\,p.$$

При этомъ скорость Звуковаго движенія въ любомъ мѣстѣ воздушной среды должна быть подобной же формы, такъ что произойдетъ только одинъ тонъ съ числомъ колебаній n. Но если теперь имѣется другое большее отверстіе мѣняющейся величины, чрезъ которое происходитъ потеря воздуха достаточная для того, чтобы давленіе p само уже небыло постояннымъ, но мѣнялось періодически въ той же мѣрѣ какъ и вытеканіе воздуха изъ другаго отверстія и слѣдовательно было бы вида

$$p = P\,[1 - \sin 2\,\pi\,m\,t],$$

то q обратится въ

$$\begin{aligned} q &= c\,A\,P\,[1 - \sin\,2\,\pi\,n\,t]\,[1 - \sin\,2\,\pi\,m\,t] \\ &= c\,A\,P\,[1 - \sin\,2\,\pi\,n\,t - \sin 2\,\pi\,m\,t - {}^1\!/_2 \cos 2\,\pi\,(m + n)\,t \\ &\quad + {}^1\!/_2 \cos 2\,\pi\,(m - n)\,t]; \end{aligned}$$

и такъ, кромѣ начальныхъ тоновъ m и n будутъ также еще существовать тоны $m + n$ и $m - n$ т. е. оба комбинаціонные тона перваго порядка.

Въ дѣйствительности уравненія будутъ всегда гораздо сложнѣе того какъ я ихъ здѣсь представилъ для изображенія явленія въ простѣйшемъ его видѣ. Тонъ n будетъ имѣть вліяніе на давленіе p точно также какъ и m; даже и комбинаціонные тоны будутъ измѣнять p; наконецъ величина отверстія не можетъ быть выражена въ большинствѣ случаевъ столь простою функціею какую мы приняли для ω. Отсюда выводится то, что кромѣ тоновъ m, n, $m + n$, $m - n$ проявляются также ихъ верхніе тоны и комбинаціонные тоны верхнихъ тоновъ какъ это и подтверждается вполнѣ опытомъ. Полная теорія подобнаго случая чрезвычайно сложна; поэтому надо было ограничиться объясненіемъ простаго приведеннаго здѣсь случая для того, чтобы по крайней мѣрѣ пояснить сущность явленія.

Я хочу здѣсь еще упомянуть о другомъ опытѣ, объясненіе котораго подобное же. Нижняя коробка моей двойной сирены сильно совмѣстно звучитъ когда держатъ камертонъ a' передъ ея нижнимъ отверстіемъ и всѣ отверстія закрыты; когда же отверстія одного ряда открыты, то она не соколеблется. Если теперь кругъ сирены заставляютъ вращаться такъ, что отверстія поперемѣнно открываются и закрываются, то получаютъ резонансъ камертона періодически мѣняющейся силы. Если n число колебаній камертона, m число, показывающее сколько разъ отдѣльное отверстіе коробки открывается, то сила резонанса будетъ періодическою фунціею времени и слѣдовательно въ простѣйшемъ случаѣ можетъ быть положена равною

$$1 - \sin\,2\,\pi\,m\,t.$$

Слѣдовательно колебательное движеніе воздуха становится тогда вида

$$\begin{aligned}(1 - \sin\,2\,\pi\,m\,t)\,\sin\,2\,\pi\,n\,t &= \sin\,2\,\pi\,n\,t + {}^1\!/_2\,\cos 2\,\pi\,(m + n)\,t \\ &\quad - {}^1\!/_2\,\cos\,2\,\pi\,(m + n)\,t\end{aligned}$$

и поэтому слышатъ кромѣ тона n, еще также тоны $m + n$ и $n - m$. Если кругъ сирены вращается весьма медленно, то m очень мало и названные тоны очень близки другъ другу, такъ что они даютъ дрожанія. Напротивъ, при быстромъ вращеніи ухо ихъ различаетъ.

ПРИЛОЖЕНІЕ XVII.

Планъ для вѣрно настроеннаго инструмента съ однимъ мануалемъ.

Къ стр. 454.

Если желаютъ изготовить органъ или гармоніонъ съ 24 тонами въ октавѣ такъ, чтобы можно было играть во всѣхъ *тонахъ* на одномъ мануалѣ. то слѣдуетъ подраздѣлить тоны инструмента на четыре пары группъ. приблизительно слѣдующимъ образомъ:

1 a)	*f*	*a*	*cis*	1 b)	*f*	*a*	*cis*
2 a)	*c*	*e*	*as*	2 b)	*c*	*e*	*as*
3 a)	*g*	*h*	*es*	3 b)	*g*	*h*	*es*
4 a)	*d*	*fis*	*b*	4 b)	*d*	*fis*	*b.*

Каждая изъ этихъ группъ должна имѣть отъ мѣховъ отдѣльный воздушный каналъ; кромѣ того должны быть придѣланы клапаны такъ чтобы, смотря по ихъ положенію, воздухъ бы проводился къ правой или къ лѣвой группѣ отдѣльныхъ горизонтальныхъ рядовъ. Въ органахъ это можетъ быть исполнено безъ затрудненій; но клавиши гармоніона должны были бы дѣйствительно находиться въ другой послѣдовательности чѣмъ язычки и для передачи движенія клавишъ клапанамъ слѣдовало бы имѣть болѣе сложный механизмъ, подобный органному.

И такъ слѣдуетъ расположить четыре клапана, посредствомъ регистровъ или педалей, для каждаго *тона* различно. Нижеслѣдующая таблица даетъ обзоръ положеній для четырехъ горизонтальныхъ рядовъ упомянутыхъ выше тоновъ.

Можорные *тоны.*	Ряды. 1	2	3	4	Минорные *тоны.*
*Ces**	*b*	*a*	*a*	*a*	(*Es*)
*Ges**	*b*	*b*	*a*	*a*	(*B*)
*Des**	*b*	*b*	*b*	*a*	(*F*)
*As**	*b*	*b*	*b*	*b*	(*C*)
*Es**	*a*	*b*	*b*	*b*	(*G*)
*B**	*a*	*a*	*b*	*b*	(*D*)
F	*a*	*a*	*a*	*b*	(*A*)
C	*a*	*a*	*a*	*a*	(*E*)
G	*b*	*a*	*a*	*a*	*H** или *Ces*
D	*b*	*b*	*a*	*a*	*Fis** или *Ges*
A	*b*	*b*	*b*	*a*	*Cis** или *Des*
E	*b*	*b*	*b*	*b*	*Gis** или *As*
H	*a*	*b*	*b*	*b*	*Dis** или *Es*
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	*b*	*Ais* [illegible] *B*

Минорные *тоны* заключенные въ скобкахъ имѣютъ вѣрную малую септиму, но слишкомъ высокій вводный тонъ. Для шести *тоновъ*, обозначенныхъ звѣздочкою, положеніе регистровъ какъ въ мажорѣ, такъ и въ минорѣ одинаково.

Если требуется полный составъ тоникъ, имѣющихъ одновременно совершенно вѣрные мажорные и минорные *тоны*, то отъ другихъ тоновъ должны быть еще отдѣлены *as*, *es*, *b*, *f*, *c* и *g*, при чемъ при вытягиваніи пятаго, особаго регистра, они должны сливаться съ тонами *gis*, *dis*, *ais*, *eis*, *his* и *fisis*; слѣдовательно, на октаву бы приходилось 30 тоновъ. И такъ прибавленіемъ этого регистра, мы получимъ слѣдующую систему *тоновъ*:

Мажорные *тоны*.	Ряды				Минорные *тоны*.
	1	2	3	4	
F	*a*	*a*	*a*	*b*	*F*
C	*a*	*a*	*a*	*a*	*C*
G	*b*	*a*	*a*	*a*	*G*
D	*b*	*b*	*a*	*a*	*D*
A	*b*	*b*	*b*	*a*	*A*
E	*b*	*b*	*b*	*b*	*E*
Ais	*a*	*b*	*b*	*b*	*Dis*
Fis	*a*	*a*	*b*	*b*	*Ais*
Cis	*a*	*a*	*a*	*b*	*Fis*
Gis	*a*	*a*	*a*	*a*	*His*
Dis	*b*	*a*	*a*	*a*	*Fisis*
Ais	*b*	*b*	*a*	*a*	*Cisis*
Eis	*b*	*b*	*b*	*a*	*Gisis*

Если бы желали только имѣть полный циклъ минорныхъ *тоновъ*, то были бы нужны для октавы не 30, а только 28 тоновъ, которые были бы достаточны для 12 минорныхъ *тоновъ* *A*, *E*, *H*, *Fis* или *Ges*, *Cis* или *Des*, *Gis* или *As*, *Dis* или *Es*, *B*, *F*, *C*, *G* *D* и для 17 мажорныхъ отъ *Ces*-Dur до *Gis*-Dur.

ПРИЛОЖЕНІЕ XVIII.

Примѣненіе къ пѣнію вѣрныхъ интерваловъ.

Къ стр. 463.

Послѣ перваго изданія этого сочиненія, я имѣлъ случай видѣть энгармоническій органъ, конструкціи генерала Перронета Томпсона (Perronet

Thompson) *), на которомъ можно играть вѣрно, переходя чрезъ мажорные и минорные *тоны* 21-й гармонически соединенныхъ тоникъ. Этотъ инструментъ гораздо сложнѣе моего гармоніона; онъ содержитъ 40 различныхъ трубъ для октавы и три различныхъ мануаля имѣющихъ въ сложности 65 клавишь для октавы, при чемъ тѣ же самыя ноты встрѣчаются частью на двухъ, или же на всѣхъ трехъ мануаляхъ. На этомъ инструментѣ можно исполнять, не прибѣгая къ энгармоническимъ смѣшеніямъ, гораздо болѣе обширныя модуляціи, чѣмъ на моемъ гармоніонѣ. Можно также на немъ исполнять довольно скорые пассажи и украшенія, несмотря на его повидимому весьма сложную клавіатуру. Органъ, поставленъ въ Sunday School Chapel, 10 Jewin Street, Aldersgate, London, и построенъ Messrs. Robson, 101 St. Martin's Lane, London. Онъ содержитъ только одинъ регистръ обыкновенныхъ трубокъ принципаловъ, снабженный клапанами, сдѣланныхъ на подобіе оконныхъ жалузи и особеннымъ механизмомъ служащимъ для того, чтобы устранить вліяніе температуры на настройку.

Г. Пооль (H. W. Poole) **) недавно передѣлалъ свой органъ, упомянутый на стр. 451 (примѣчаніе), такимъ образомъ, что устранилъ настройку рядами регистровъ и устроилъ особую клавіатуру на которой можно играть во всѣхъ *тонахъ* тою же аппликатурою. Скала этой клавіатуры содержитъ не только вѣрныя квинты и терціи ряда мажорныхъ аккордовъ, но и натуральныя септимы для тоновъ обоихъ рядовъ. На октаву приходится 78 трубокъ, при чемъ здѣсь примѣнена, какъ и на моемъ гармоніонѣ, замѣна *Fes*, посредствомъ *E*.

Слѣдованія аккордовъ на этомъ инструментѣ чрезвычайно благозвучны и быть можетъ, вслѣдствіе болѣе нѣжнаго оттѣнка звука, поразительно благозвучнѣе, чѣмъ на моемъ гармоніонѣ. По этой же причинѣ и разница между правильно и невѣрно взятыми аккордами на этомъ органѣ не такъ рѣзка какъ на гармоніонѣ. Я имѣлъ случай слышать въ одномъ обществѣ пѣвицу сопровожденную и часто пѣвавшею съ сопровожденіемъ энгармоническаго органа, и могу увѣрить, что это пѣніе доставляло особенное чувство довольства совершенной увѣренности интонаціи, котораго обыкновенно недостаетъ при сопровожденіи фортепіано. Въ этомъ же обществѣ находился и скрипачъ, который еще не имѣлъ случая играть въ сопровожденіи органа и который аккомпанировалъ извѣстныя аріи по слуху. Онъ вполнѣ прилаживался къ интонаціи органа пока *тонъ* оставался неизмѣннымъ и только при быстрыхъ модуляціяхъ не умѣлъ слѣдовать за инструментомъ.

Въ Лондонѣ можно также имѣть случай сравнивать интонацію этого инструмента съ натуральною интонаціею такихъ пѣвцовъ, которые научились пѣть совершенно безъ всякаго инструментальнаго сопровожденія и которые привыкли слѣдовать только своему слуху. Я говорю объ обществахъ сольфеджистовъ (*Tonic-Solfa-Associations*), которыя весьма распространены въ большихъ городахъ Англіи (въ 1862 г. уже 150,000) и большіе успѣхи которыхъ весьма достойны вниманія музыкальныхъ теоретиковъ. Эти общества употребляютъ для обозначенія нотъ мажорной скалы слоги *Do*, *Re*, *Mi*, *Fa*, *So*, *La*, *Ti*, *Do*, такъ, что *Do* всегда обозначаетъ тонику. Напѣвы ихъ не написаны обыкновеннымъ нотнымъ письмомъ, а обыкновеннымъ печатнымъ шрифтомъ, при чемъ высоту тона обозначаютъ начальныя буквы упомянутыхъ слоговъ.

Если тоника будетъ измѣнена, посредствомъ модуляціи, то обозначеніе измѣнится такимъ образомъ, что хотя новая тоника и назовется снова

*) *Principles and Practice of Just Intonation, illustrated on the Enharmonic Organ. 7th Edition. London*, 1863.
**) American Journal of Science and Arts, Vol. XLIV, July 1867.

Do, но на той нотѣ, на которой происходитъ перемѣна *тона* ставятъ два знака, изъ которыхъ одинъ относится къ прежней, а другой къ новой тоникѣ. Слѣдовательно этими способомъ обозначенія выдается прежде всего отношеніе каждой ноты къ тоникѣ, тогда какъ абсолютная высота тона, въ которой слѣдуетъ исполнить сочиненіе, обозначена только въ началѣ. Такъ какъ интервалы натуральной мажорной скалы перелагаются во всякій новый входящій посредствомъ модуляціи *тонъ*, то всѣ *тоны* исполняются безъ температіи интерваловъ. Въ способѣ обозначенія совершенно не указано, что при модуляціи отъ *C*-Dur къ *G*-Dur *Mi* (или *h̲*) послѣдней скалы въ точности соотвѣтствуетъ *Ti* первой и что *Re* (или *a*), второй приблизительно соотвѣтствуетъ *La* (или *a̲*) первой; этому научаются только при дальнѣйшемъ ходѣ преподаванія. Слѣдовательно ученику и не дано никакого повода смѣшивать *a* съ *a̲* *).

Нельзя не признать того, что этотъ способъ обозначенія имѣетъ большое преимущество для преподаванія пѣнія; имъ дѣлается яснымъ отношеніе къ тоникѣ, т. е. то что самое важное для опредѣленія тона. Только единичные, необыкновенные таланты въ состояніи удерживать и снова находить абсолютные высоты тона, въ особенности въ то время, когда издаются еще и другіе тоны. Но обыкновенное нотное письмо обозначаетъ непосредственно только абсолютныя высоты тоновъ и то только для темпераціонной настройки. Всякій кто часто пѣлъ съ листа, знаетъ насколько легче пѣть съ фортепіаннымъ сопровожденіемъ, которымъ дается гармонія, чѣмъ безъ такого сопровожденія. Въ первомъ случаѣ можно легко узнать будетъ ли нота, которую слѣдуетъ пѣть, основнымъ тономъ, терціею, квинтою или диссонансомъ издаваемаго аккорда; во второмъ случаѣ можно только восходить или нисходить насколько это возможно, по даннымъ интерваламъ и полагаться на то, что сопровождающіе инструменты и другіе голоса будутъ вставлять собственный голосъ въ вѣрной высотѣ тона.

И такъ, то что пѣвецъ, знакомый съ теоріею музыки, можетъ распознать по фортепіанному сопровожденію, способъ обозначенія сольфеджистовъ даетъ непосредственно даже и непривычному ученику. Я самъ убѣдился въ томъ, что при употребленіи этого обозначенія, отдѣльному голосу гораздо легче пѣть правильно, чѣмъ при обыкновенномъ нотномъ письмѣ; я имѣлъ случай слышать въ одной изъ народныхъ школъ Лондона болѣе 40 дѣтей отъ 8 до до 12-ти лѣтняго возраста, исполнявшихъ вокальныя упражненія съ такою увѣренностью въ чтеніи нотъ и съ такою вѣрностью интонаціи, что привели меня въ изумленіе. Обыкновенно лондонскія школы сольфеджистовъ даютъ ежегодно въ хрустальномъ дворцѣ въ Сиденгамѣ концертъ въ которомъ принимаютъ участіе отъ 2-хъ до 3-хъ тысячъ дѣтей и который, какъ меня увѣряли музыканты, производитъ по своему благозвучію и точности исполненія наилучшее впечатлѣніе на слушателей.

Сольфеджисты поютъ по натуральнымъ, а не по темпераціоннымъ интерваламъ. Если ихъ хоры сопровождаются темпераціоннымъ органомъ, то происходятъ весьма замѣтныя разницы и нарушенія, тогда какъ съ энгармоническимъ органомъ генерала Томпсона, сольфеджисты согласуют-

*) Свѣдѣнія о принципахъ даетъ А. Граммаръ (A. Grammar) *of Vocal Music founded on the Tonic Solfa Method by* J. Curwen. 19th *Edition. London, Ward and Co.* — Учебникъ называется: *The standart Course of lessons on the Tonic Solfa Method by* J. Curwen. *London, Tonic Solfa Agency.* 43 *Pater-noster Row.* — Журналъ Общества: *The Tonic Sol-Fa Reporter and Magazine of Vocal Music. London, Ward and Co.* — Множество музыкальныхъ произведеній обнародованы въ нотномъ письмѣ сольфеджистовъ; между прочимъ: Paulus, Мендельсона; Messias, Израиль въ Египтѣ, Іуда Маккавей, Генделя; Te Deum Деттингера; Сотвореніе міра, Гайдна. Во Франціи, въ школѣ *Galin-Paris-Chevé* пѣніе преподается на подобныхъ же началахъ и помощью подобной же нотаціи.

ся вполнѣ. Нѣкоторые факты чрезвычайно характеристичны. Одна дѣвушка должна была пѣть соло въ *F*-Moll и взяла съ собою ноты на домъ чтобы упражняться съ сопровожденіемъ фортепіано. По возвращеніи своемъ, она сообщила будто бы на ея фортепіано *As* и *Des* не вѣрны, т. е. терція и секста *тона*, въ которыхъ уклоненіе при темпераціонной настройкѣ дѣйствительно самое значительное. Другая подобная же ученица была столь удовлетворена энгармоническимъ органомъ, что упражнялась на немъ три часа подъ рядъ, сказавъ что ей было очень пріятно играть хоть разъ настоящія ноты. Вообще въ большомъ числѣ случаевъ оказывалось, что молодые люди, учившіеся пѣть по методѣ сольфеджистовъ справлялись сами собою и безъ указанія другихъ съ сложною клавіатурою энгармоническаго органа и постоянно выбирали теоретически вѣрные интервалы.

Пѣвцы находятъ, что при сопровожденіи энгармоническаго органа пѣть легче, не смотря на то, что во время пѣнія они не слышатъ инструмента, такъ какъ онъ въ совершенной гармоніи съ ихъ голосомъ и не производитъ дрожаній.

Впрочемъ, я замѣчалъ и самъ, что пѣвцы, которые привыкли къ фортепіанному сопровожденію, поютъ простую мелодію при сопровожденіи натурально настроеннаго гармоніона по натуральнымъ терціямъ и секстамъ, а не по пиѳагоровымъ. Я сопровождалъ начало мелодіи и останавливался, когда пѣвецъ долженъ былъ вставлять терцію или сексту *тона*. Послѣ того какъ одинъ изъ упомянутыхъ интерваловъ былъ имъ уже воспроизведенъ, я издавалъ или натуральный, или пиѳагоровъ, или же темпераціонный интервалъ. Первый изъ нихъ былъ постоянно въ однозвучіи съ нотою пѣвца, оба же другіе давали рѣзкія дрожанія.

Я полагаю, что послѣ этихъ опытовъ не можетъ быть сомнѣнія: 1) что теоретически опредѣленные интервалы, которые я назвалъ въ настоящемъ сочиненіи натуральными, дѣйствительно натуральны для неиспорченнаго слуха; 2) что отклоненія темпераціонной настройки дѣйствительно замѣтны и непріятны для неиспорченнаго слуха; 3) что несмотря на малыя различія въ отдѣльныхъ интервалахъ, правильное пѣніе по натуральной скалѣ гораздо легче, чѣмъ по темпераціонной. Сложность, требуемая натуральною гаммою и затрудняющая ея примѣненіе къ инструментамъ съ неизмѣнными тонами, не существуетъ ни для пѣвца, ни для скрипача, когда они руководствуются только собственнымъ слухомъ, такъ какъ въ натуральномъ ходѣ правильно модулированной музыки имъ только надо слѣдовать по интерваламъ натуральной діатонической скалы. Сложное вычисленіе существуетъ только для теоретика, если онъ хочетъ окончательно сравнить результатъ большаго числа такихъ слѣдованій съ исходною точкою.

Касательно того, что натуральная система, можетъ быть исполнена пѣвцами, это доказываютъ англійскіе сольфеджисты; что она можетъ быть исполнена на смычковыхъ инструментахъ, и дѣйствительно исполняется артистами, то въ этомъ, послѣ упомянутыхъ выше изслѣдованій Делезення и затѣмъ послѣ слышаннаго мною скрипичнаго исполненія съ энгармоническимъ органомъ, я болѣе не сомнѣваюсь. Изъ остальныхъ оркестровыхъ инструментовъ, мѣдные инструменты имѣютъ сами въ себѣ натуральную настройку и могутъ принаровливаться къ темпераціонной системѣ только съ трудомъ. Деревянные духовые инструменты могли бы немного измѣнить свои тоны для того, чтобы присоединиться къ строю другихъ. И такъ, я не думаю чтобы трудности натуральной системы можно было бы считать непреодолимыми; я даже полагаю, что многія изъ нашихъ лучшихъ музыкальныхъ произведеній обязаны своей красотѣ безъотчетному введенію натуральной системы, и что мы бы могли чаще имѣть подобное наслажденіе,

если бы эта послѣдняя изучалась систематически и была бы положена въ основаніе всему музыкальному преподаванію вмѣсто системы темпераціонной, которая стремится воспрепятствовать человѣческому голосу и смычковымъ инструментамъ раскрыть полное ихъ благозвучіе только для того, чтобы не усложнить игры на фортепіано и органѣ.

Обозначеніе натуральнаго строя, предложеннаго г. Эллисомъ (A. Ellis) *) для обыкновеннаго нотнаго письма, немного уклоняется отъ употребленнаго въ этомъ изданіи моего сочиненія. Онъ пользуется только двумя новыми знаками, именно † для повышенія тона на одну комма $\frac{81}{80}$, и ‡ для пониженія на тотъ же интервалъ; напротивъ ♯ означаетъ повышеніе на одну лимма $\frac{135}{128}$, и ♭ пониженіе на тотъ же интервалъ. Ноты безъ знаковъ *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A* и *H* имѣютъ тѣ значенія, которыя имъ даются въ натуральномъ строѣ *C*-Dur, какъ на стр. 393.

Тогда *G*-Dur получаетъ кромѣ ♯ предъ *F*, † предъ *A*.

D-Dur получаетъ кромѣ того второй ♯ предъ *C* и второй † предъ *E*.

A-Dur (или скорѣе † *A*-Dur) получаетъ третій ♯ предъ *G* и третій † предъ *H*.

Легко видѣть какъ это идетъ далѣе, слѣдуя въ квинтахъ.

Обратно *F*-Dur, получаетъ кромѣ ♭ предъ *H*, еще ‡ предъ *D*.

B-Dur получаетъ второе ♭ предъ *E* и второе ‡ предъ *G*.

Es-Dur третье ♭ предъ *E* и третье ‡ предъ *C* и т. д.

Нисходящая минорная гамма *A*-Moll отличается отъ гаммы *C*-Dur, ‡ предъ *D*. Въ восходящей минорной гаммѣ вводный тонъ къ *A* слѣдуетъ обозначить посредствомъ ‡♯ *G*, потому что ♯ *G* вводный тонъ къ † *A*, какъ это уже было прежде, точно также ‡♯ *F* слѣдуетъ принимать за терцію ‡ *D*. Соотвѣтствующія обозначенія слѣдуетъ сдѣлать и въ другихъ минорныхъ *тонахъ*.

Соотвѣтствующіе † и ‡ ставятся для главнаго *тона* въ началѣ каждой строки, какъ ♯ и ♭. Тамъ гдѣ входятъ модуляціи ихъ слѣдуетъ поставить передъ отдѣльными нотами.

*) Proceedings Royal Society. 1864. № 90.

ДВѢ СТАТЬИ Г. ГЕРУ.

Статья I.

О ТЕРЦІИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ И ТЕРЦІИ МЕЛОДИЧЕСКОЙ.

Въ 1869 году, гг. Корню и Меркадье представили въ парижскую академію наукъ записку, въ которой старались доказать на основаніи опытовъ, что *мелодическая* и *гармоническая* гаммы составлены изъ разныхъ интерваловъ; въ особенности же, что числа колебаній двухъ звуковъ, составляющихъ терцію, находятся въ отношеніи $\frac{81}{64}$, когда звуки слышимы *послѣдовательно* и въ отношеніи $\frac{5}{4}$, когда они издаются *одновременно*.

9-го мая 1870 года, я представилъ на эту записку критику, основанную на чисто численныхъ соображеніяхъ и въ которой обѣщались изслѣдованія путемъ опыта. Эта замѣтка навлекла на меня довольно живое возраженіе со стороны гг. Корню и Меркадье, которые, выдумывая новую, весьма остроумную систему, но примѣнимую только къ струннымъ инструментамъ, напечатали различные труды, частью въ отчетахъ академіи наукъ, частью же въ *Journal de physique*, подтверждающіе ихъ первоначальное мнѣніе.

Въ настоящей статьѣ я вовсе не имѣю цѣлью эти труды разбирать или критиковать. Я просто желаю сообщить въ подробности тѣ опыты, которые были обѣщаны три года тому назадъ и какіе изъ нихъ можно сдѣлать выводы *).

Я пришелъ къ тѣмъ же выводамъ, не зная еще этой замѣтки; вотъ какими опытами, они какъ кажется подтверждаются.

Вмѣсто того, чтобы заставлять исполнять голосомъ или инструментомъ интервалъ терціи, протяженіе которой можно точно измѣрить, мнѣ показалось болѣе раціональнымъ играть послѣдовательно передъ однимъ и тѣмъ же слушателемъ натуральную и затѣмъ пи-

*) Затѣмъ Г. Геру приводитъ выноску, помѣщенную въ моемъ переводѣ подъ знакомъ **) на стр. 463 и продолжаетъ какъ слѣдуетъ далѣе.

ѳагорову терцію, и спросить его, которую изъ нихъ онъ предпочитаетъ. Этимъ пріемомъ все вниманіе слушателя сосредоточивается на его слуховыхъ впечатлѣніяхъ; онъ остается чуждымъ вниманію къ аппликатурѣ, механизму и не подвергается вліянію привычки. Такъ какъ здѣсь дѣло идетъ о *мелодическихъ* слѣдованіяхъ, т. е. о сравненіи одного ощущенія съ воспоминаніемъ о другомъ, то необходимо, чтобы наблюденія надъ каждою терціею слѣдовали бы *непосредственно*. Наконецъ для того чтобы ухо имѣло возможность намъ передать послѣдовательно слышанные звуки такъ, чтобы они сохранились въ памяти, по весьма справедливому замѣчанію Гельмгольца, необходимо, чтобы ихъ взаимная связь была явственно обозначена.

По моимъ указаніямъ былъ построенъ гармоніонъ съ двумя клавіатурами, описаніе котораго слѣдуетъ ниже.

Инструментъ имѣетъ 2 клавіатуры *нижнюю* и *верхнюю*, имѣющія, какъ и въ фортепіано 12 нотъ на октаву и содержащія каждая пять октавъ отъ *fa* до *fa*. Обѣ клавіатуры настроены по вѣрнымъ квинтамъ, но верхній мануаль на комму $\left(\frac{81}{80}\right)$ ниже нижняго. Принимая нотацію Гельмгольца и обозначая чрезъ *ut, ré, mi, fa, sol* и т. д. тоны нижняго мануаля и чрезъ *ut, ré, mi, fa, sol* и т. д. тоны верхняго мануаля, увидимъ, что аккордъ *ut, mi, sol* въ точности вѣрный совершенный аккордъ, даваемый теоріею акустики. Каждая изъ верхнихъ клавишъ того и другаго мануаля представляютъ ♭ и ♯, но не одинаковой категоріи. Такъ напр. на нижнемъ мануалѣ *mi*♭ изображаетъ *ré*♯ верхняго мануаля, или другими словами, *mi*♭ = *ré*♯. Если верхнія клавиши 2-го мануаля разсматривать въ качествѣ ♭-ей, то онѣ представятъ ♯-ы третьяго мануаля, который долженъ бы былъ быть настроенъ на *комму* ниже втораго; и такъ *mi*♭ = *ré*♯. Смѣшивая такимъ образомъ ♭ одной категоріи съ ♯ другой, дѣлаютъ погрѣшность равную интервалу $\frac{886}{885}$, находящемуся на предѣлѣ различаемаго.

Инструментъ настраиваютъ слѣдующимъ образомъ: начинаютъ съ нижняго мануаля и получаютъ посредствомъ нисходящихъ вѣрныхъ квинтъ *si, mi, la, ré, sol, ut, fa, si*♭, *mi*♭. Эти квинты должны быть *абсолютно вѣрными*, т. е. *совсѣмъ не давать дрожаній.*

Затѣмъ опредѣляютъ на нижнемъ мануалѣ ноты *fa*♯, *ut*♯, *sol*♯, или по предъидущему *sol*♭, *ré*♭, *la*♭, которыя съ предъидущими вѣрными квинтами *ré la, la mi, mi si*, даютъ *строго вѣрные* совершенные аккорды, не производящіе дрожаній.

На верхнемъ мануалѣ находятъ *si, mi, la, ré, sol, fa, si*♭; принимая эти ноты за вѣрныя терціи основныхъ трезвучій *sol si ré, ut mi*

sol, fa la ut, si♭ *ré fa, mi*♭ *sol si*♭, *ré fa la*♭, *sol*♭ *si*♭ *ré*♭, коихъ квинты *ut, sol, fa, si*♭ и т. д. взяты на нижнемъ мануалѣ.

Вѣрныя трезвучія *ré fa*♯ *la, la ut*♯ *mi, mi sol*♯ *si* на верхнемъ мануалѣ получаютъ тѣмъ, что пользуются только что найденными тонами *ré, la, mi* и настраиваютъ терціи *fa*♯, *ut*♯, *sol*♯ (или *sol*♭, *ré*♭, *la*♭) такъ, чтобы эти терціи не давали дрожаній.

Нота *si* верхняго мануаля составляетъ вѣрную квинту съ *fa*♯, или *sol*♭ нижняго мануаля. *ré*♯ (или *mi*♭) верхняго мануаля находятъ тѣмъ, что ее настраиваютъ какъ вѣрную терцію аккорда *si ré*♯ *fa*♯ (*ut*♭, *mi*♭ *sol*♭) въ коихъ 2 первыя ноты находятся на верхнемъ мануалѣ, а 3-я на нижнемъ.

Всѣ квинты до сихъ поръ опредѣленныя вѣрны въ срогомъ смыслѣ слова, за исключеніемъ одной, именно той, которая составлена изъ *la*♭ и *mi*♭ нижняго мануаля. Эта квинта, коей настоящее значеніе *sol*♯ *mi*♭ выражается численно посредствомъ $2^{\frac{7}{12}}$, слѣдовательно она равна въ точности темпераціонной квинтѣ. *ut* верхняго мануаля, т. е. терцію аккорда *la*♭ *ut mi*♭, опредѣляютъ такимъ образомъ, чтобы *комбинаціонные тоны* каждой изъ обѣихъ его составляющихъ терцій между собою совпадали и не давали дрожаній. Обозначая чрезъ a и b числа колебаній тоники и квинты и чрезъ x число колебаній искомой приблизительно терціи, мы получимъ

$$x - a = b - x,$$

откуда

$$x = \frac{a+b}{2}.$$

Это трезвучіе *la*♭, служащее на практикѣ связью между 2-мя родами вполнѣ вѣрныхъ аккордовъ, гораздо болѣе удовлетворяетъ слуху аккордовъ темпераціоннаго и пиѳагорова. Всѣ музыканты, которымъ я его игралъ, различали его отъ другихъ аккордовъ съ большимъ трудомъ.

Инструментъ, который я только что описалъ и построенный по тому же принципу какъ и гармоніонъ Гельмгольца, имѣетъ точно также 15 вѣрныхъ мажорныхъ и столько же вѣрныхъ минорныхъ аккордовъ (за исключеніемъ, которое сдѣлано для *la*♭ и *ut*). Онъ даетъ 13 вѣрныхъ мажорныхъ и 14 гаммъ минорныхъ изъ коихъ 8 вѣрны, а 6 имѣютъ слишкомъ высокій вводный тонъ.

Возможность измѣнять въ аккордахъ и гаммахъ высоту каждой ноты на *комму* $\left(\frac{81}{80}\right)$ дѣлаетъ этотъ инструментъ драгоцѣннымъ для историческихъ или ученыхъ изслѣдованій гаммы или гармоніи.

*

Собственно опытъ производился неизмѣнно слѣдующимъ образомъ: выбранная мелодія была началомъ весьма извѣстнаго andante Гайдна *la* — *la* — *ut* ♯ — *ut* ♯ — *mi* — *mi* — *ut* ♯ —; я ее игралъ въ самой верхней октавѣ моего инструмента, потому что, принимая во вниманіе увеличеніе абсолютнаго числа колебаній, различія высоты гораздо болѣе чувствительны для уха въ верхнихъ частяхъ скалы.

Когда слушатель становился спиною къ инструменту я игралъ la_3 — la_3 — ut_4 ♯ — ut_4 ♯ — mi_4 — mi_4 — ut_4 ♯ на верхнемъ мануалѣ, т. е. бралъ натуральную терцію; затѣмъ взявъ *ut* ♯ на нижнемъ мануалѣ, игралъ

la_3 la_3 ut_4 ♯ ut ♯$_4$ mi_4 mi_4 ut ♯,

что давало пиѳагорову терцію.

Затѣмъ я снова начиналъ первую часть мелодіи въ обѣихъ системахъ

la_3 la_3 ut ♯

la_3 la_3 ut ♯.

Наконецъ я нарушалъ порядокъ такимъ образомъ, чтобы сбить совершенно слушателя.

Вотъ каковъ былъ результатъ моихъ наблюденій повторенныхъ надъ артистами и любителями.

1) Г. Делль Седіэ итальянскій пѣвецъ и первоклассный учитель пѣнія тотчасъ же и не колеблясь предпочелъ натуральную терцію, находя пиѳагорову слишкомъ высокою.

2) Г-жа Делль Седіэ примадонна, бывшая ученица неаполитанской консерваторіи, одаренная чрезвычайно утонченнымъ слухомъ, выразила тотчасъ же и весьма энергичное предпочтеніе натуральной терціи.

3) Г. Е. Созэ профессоръ скрипичной игры въ парижской консерваторіи, замѣчательный артистъ и композиторъ. Тотъ же результатъ.

4) Г. Ж. Созе артистъ скрипачъ. Тотъ же результатъ.

5) Г. А. Вурмзеръ фортепіанистъ, получившій въ 1872 г. 1-й призъ въ парижской консерваторіи за игру на фортепіано. Тотъ же результатъ.

Эти первыя хотя и весьма доказательныя наблюденія, быть можетъ, не имѣютъ той цѣлы, какъ тѣ, которыя слѣдуютъ далѣе, потому что гг. артисты, которые мнѣ содѣйствовали при наблюденіяхъ, серьезно изучили гармоніонъ вѣрной настройки. Г. А. Вурмзеръ достигъ даже на этомъ инструментѣ бѣглости исполненія. Слѣдовательно ихъ отвѣты могутъ быть до нѣкоторой степени объяснены вліяніемъ начи-

нающейся усвоиваться привычки. Я объ этомъ еще поговорю ниже. Слѣдующія наблюденія носятъ на себѣ совершенно произвольный характеръ.

6) Г. С. піанистъ композиторъ, лишенный зрѣнія, но одаренный превосходнымъ слухомъ, нашелъ сперва натуральную терцію нѣсколько странною, но пиѳагорову терцію неоспоримо слишкомъ высокою. Нажимая немного менѣе клавишу, звукъ гармоніона понижаютъ и получаютъ такимъ образомъ на нижнемъ мануалѣ болѣе низкій *ut* ♯, который весьма близокъ къ темпераціонному *ut* ♯. Г. С. сперва находитъ что его болѣе удовлетворяетъ эта третья терція; послѣ пяти или шести опытовъ онъ мирится съ звукомъ натуральной терціи.

7) Г. Ж. авторъ нѣсколькихъ оперъ, піанистъ любитель, испытываетъ тѣ же впечатлѣнія; онъ пожалуй болѣе склоненъ предъидущаго къ темпераціонной терціи.

8) Г-нъ Г. скрипачъ любитель, занимавшійся много аккомпанированьемъ, предпочитаетъ не колеблясь темпераціонную терцію; натуральную терцію онъ находитъ слишкомъ низкою, а пиѳагорову слишкомъ высокою. По прошествіи нѣкотораго времени и повтореній съ нимъ опытовъ, онъ немного примиряется съ звукомъ натуральной терціи, которую все таки находитъ немного низкою.

9) Г-жа Г. любительница музыки, талантливая піанистка и пѣвица, до такой степени усвоившая себѣ звуки фортепіано, что стоя къ нему спиною, безошибочно называетъ ноты, которыя берутъ по произволу; она предпочитаетъ натуральную терцію, хотя и находитъ ее нѣсколько странною; пиѳагорову же терцію находитъ несомнѣнно слишкомъ высокою.

10) Г. Ж. Л. віолончелистъ и піанистъ любитель предпочитаетъ натуральную терцію.

11) Г. С. піанистъ любитель, имѣвшій неблагопріятныя предубѣжденія, тотчасъ же пришелъ къ убѣжденію превосходства натуральной терціи.

12) Г. А. С. любитель, не играющій ни на какомъ музыкальномъ инструментѣ. Тотъ же результатъ.

Наконецъ я дѣлалъ самъ наблюденія надъ терціею въ гаммѣ обѣихъ системъ. Въ данной выше мелодіи, натуральная терція безспорно лучшая. Въ діатонической, исполненной мелодически гаммѣ результатъ менѣе явственъ, въ особенности же когда она исполняется медленно. Фактъ этотъ можно объяснить вотъ какъ:

3-й частный тонъ, верхняя квинта, весьма явственно обозначается какъ гармоніономъ такъ и человѣческимъ голосомъ. Слѣдовательно, когда играютъ гамму

ut ré mi, и т. д.

не трудно при нѣкоторомъ вниманіи воспринять рядъ квинтъ

sol *la*
ut *ré*

Точно такимъ же образомъ я себѣ объясняю увѣренность, съ которою всякій можетъ воспроизвести интервалъ *ut ré*; дѣйствительно верхній тонъ *sol* звука *ut* служитъ точкою опоры для перехода къ *ré*. Если долго тянуть послѣднюю ноту, т. е. столько времени, чтобы изгладилось впечатлѣніе произведенное *ut*, то естественно перейдти отъ

la *si*
ré къ *mi*

который составляетъ большую секунду съ *ré* и пиѳагорову терцію съ прежнимъ *ut*. Но вѣдь это и есть настоящая модуляція отъ *ut* къ *ré*.

Дѣлая наблюденія при возможно разнообразныхъ условіяхъ, напр. играя дней 15 только на фортепіано и не пользуясь въ теченіи этого времени вовсе гармоніономъ, или же наоборотъ, я могъ убѣдиться на дѣлѣ о вліяніи на слухъ навыка къ той или другой настройкѣ и о той быстротѣ съ которою навыкъ пріобрѣтается и теряется. Послѣ нѣсколькихъ тактовъ, исполненныхъ на гармоніонѣ возникшее сначала сомнѣніе вскорѣ и исчезало. Единственное серьезное возраженіе, которое мнѣ было сдѣлано въ теченіи того времени какъ я дѣлалъ наблюденія, слѣдующее:

Какъ я уже замѣтилъ выше, звукъ гармоніона понижаютъ тѣмъ, что опускаютъ нѣсколько менѣе клавишу (что, будь между прочимъ сказано, можетъ быть примѣнено въ конструкціи вѣрнаго инструмента). Отсюда слѣдуетъ, что дѣйствіе на клавишу неопредѣленно, такъ какъ звукъ повышается по мѣрѣ ея опусканія. Когда же клавишу освобождаютъ, то происходитъ обратное. По мнѣнію того лица, которое мнѣ сдѣлало это возраженіе, выходитъ, что произошла бы неопредѣленность въ оцѣнкѣ терціи

$$\underline{la} \pm \alpha, \quad \underline{\underline{ut\sharp}} \pm \beta,$$

при чемъ α и β означаютъ различія высотъ, происходящія отъ степени опусканія клавиши. На это по видимому легко отвѣтить во 1-хъ тѣмъ, что α и β имѣютъ необходимо одинъ знакъ; нельзя также предположить, чтобы мы сравнивали слухомъ первый періодъ $\underline{la}$ со 2-мъ $\underline{\underline{ut\sharp}}$, или же наоборотъ; во 2-хъ тѣмъ, что въ силу начальнаго и быстраго измѣненія высоты, нашъ слухъ долженъ склониться къ тому изъ 2-хъ звуковъ, въ которомъ высота установлена окончательно; въ 3-хъ тѣмъ, что опытъ былъ дѣлаемъ совершенно тожественно, какъ для натуральной, такъ и для пиѳагоровой терціи. Слѣдовательно такого рода погрѣшности должны между собою взаимно сглаживаться.

Происхожденіе увеличеннаго секстаккорда (accord de sixte augmentée) *) возбудило живой интересъ въ музыкантахъ. Играя въ верхнихъ частяхъ скалы только что описаннаго гармоніона, гдѣ комбинаціонные тоны воспроизводятся съ большою явственностью, мнѣ показалось, что тѣ 2 звука, которые составляютъ фальшивую кварту или тритонъ *fa* $\underline{si}$, имѣютъ комбинаціонымъ тономъ *ré* $\flat$. Провѣрить фактъ именно въ концѣ 1-го реприза гимна Гайдна. Вычисленіе даетъ слѣдующіе результаты:

$$fa = \frac{4}{3}$$
$$si = \frac{15}{8},$$

комбинаціонный тонъ

$$= \frac{15}{8} - \frac{4}{3} = \frac{13}{24},$$

т. е. тонъ, который выше *ré* $\flat$ приблизительно на 2 коммата. Въ аккордѣ *fa* — $\underline{\underline{sol}}$ — $\underline{si}$, *sol* не вводитъ новаго начальнаго комбинаціоннаго тона и $\underline{\underline{ré}}$ $\flat$ дополняетъ аккордъ до увеличеннаго секстаккорда въ его обыкновенной формѣ. Этотъ фактъ мнѣ показался не безъ значенія для уясненія возбужденныхъ по этому поводу преній; въ самомъ дѣлѣ трудно приписать слишкомъ высокому $\underline{\underline{ré}}$ $\flat$ роль нисходящаго вводнаго тона, такъ какъ послѣдній имѣетъ всегда стремленіе приблизиться къ тоникѣ.

Статья II.

О существующихъ соотношеніяхъ между числами колебаній музыкальныхъ звуковъ и ихъ интервалами. Линейка для акустическихъ вычисленій *).

До сихъ поръ **) музыкальный интервалъ постоянно измѣряли отношеніемъ чиселъ колебаній его двухъ начальныхъ тоновъ. Изъ

*) Собственно «accord de sixte augmentée» означаетъ увеличенный секстаккордъ. Смотри dictionnaire de musique par le D-r Pierre Lichtenthal Paris 1839 стр. 22. Однакоже какъ по объясненію Лихтенталя, такъ и по объясненію Рихтера «увеличенный секстаккордъ» существенно отличается отъ аккорда, о которомъ идетъ рѣчь.

**) Линейка для вычисленій или логариѳмическая линейка (règle à calcul или règle glissante) была изобрѣтена Гунтеромъ.

М. П.

***) По крайней мѣрѣ въ обыкновенной практикѣ. Делезеннъ и Леконтъ (Lecomte) уже предложили употребленіе акустическихъ логариѳмовъ (logarithmes acoustiques) въ отчетахъ «Société des Sciences de Lille».

этой системы выходитъ, что если желаютъ взять половину, четверть, или двѣнадцатую даннаго интервала, то слѣдуетъ брать не половину, четверть или двѣнадцатую его численнаго выраженія, но соотвѣтствующіе корни: квадратный, четвертой и 12-й степени. Для того чтобы одинъ интервалъ увеличить или уменьшить другимъ, слѣдуетъ ихъ не складыватъ или вычитать, но другъ на друга умножать, или дѣлить. Для того чтобы узнать сколько разъ данный интервалъ содержитъ другой меньшій, слѣдуетъ искать показатель степени въ которую надо возвысить послѣдній, чтобы получить первый.

Независимо отъ этихъ ариѳметическихъ усложненій, упомянутая система имѣетъ еще гораздо болѣе важный недостатокъ, затемняя даже сущность интервала.

Интервалъ,—*разстояніе* т. е. *длина*; въ акустикѣ же съ интервалами обходятся какъ съ *высотами*. Гамма называется также *лѣстницею* (скалою) звуковъ. Пусть попытаются себѣ представить лѣстницу, посредствомъ *отношеній*, а не *разностями* высотъ ступеней и тогда себѣ составятъ точное понятіе о тѣхъ затрудненіяхъ, которыя представляетъ настоящее обозначеніе интерваловъ умственному труду акустика.

Мѣрою интервала, гораздо проще взять *логариѳмъ* отношенія чиселъ колебаній. Для того чтобы нѣкоторый интервалъ раздѣлить на n равныхъ частей, слѣдуетъ взять $n^{ую}$ часть логариѳма; для того чтобы одинъ интервалъ увеличить или уменьшить другимъ, слѣдуетъ только сложить или вычесть ихъ численныя выраженія; для того чтобы узнать сколько разъ одинъ интервалъ содержится въ другомъ, слѣдуетъ только раздѣлить второй на первый.

Это простое измѣненіе обозначенія влечетъ за собою многочисленныя слѣдствія, которыя могутъ быть резюмированы слѣдующею формулою. Если y число колебаній нѣкоего музыкальнаго звука относительно данной тоники, x его разстояніе, его интервалъ отъ той же тоники, то

$$y = a^x,$$

a здѣсь нѣкое цѣлое число и уравненіе заключаетъ всѣ отношенія, которыя могутъ существовать между числами колебаній и интервалами музыкальныхъ звуковъ. Эти отношенія изображены системою логариѳмическихъ кривыхъ $y=a^x$, при чемъ ординаты изображаютъ числа колебаній тоновъ относительно тоники, а абсциссы ихъ интервалы, ихъ разстоянія отъ той же тоники.

На основаніи предъидущихъ соображеній, была изготовлена по моимъ указаніямъ линейка для акустическихъ вычисленій, описаніе

которой, равно какъ и ея важнѣйшихъ примѣненій я дамъ тотчасъ же.

На линейкѣ, устроенной въ видѣ обыкновенной логариѳмической, откладываютъ горизонтальную длину равную $0^{м}$, 3010, т. е. логариѳму 2-хъ, выраженному въ миллиметрахъ. Эта длина, которая изображаетъ интервалъ октавы, раздѣлена:

1) на 12 равныхъ частей, изображающихъ интервалы тоновъ и полутоновъ темпераціонной скалы;

2) на нѣкоторое число частей, соотвѣтствующихъ интерваламъ *ut*, *ré*, *mi*, *fa*, и т. д., равныхъ соотвѣтственно логариѳмамъ 1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$ и т. д. Такимъ образомъ интервалы гаммъ темпераціонной, натуральной и пиѳагоровой, изображены на 3-хъ горизонтальныхъ линіяхъ отдѣльно.

3) Линейка еще раздѣлена горизонтально на 56 равныхъ частей, изъ коихъ каждая соотвѣтствуетъ интервалу одной коммы $(\frac{81}{80})$ и равна $\overset{м.}{0,0054}$. Эти 56 *коммата* въ совокупности немного большія октавы раздѣлены сами на 10 равныхъ частей.

Въ каждой изъ точекъ *ut*, *ré*, *mi* и т. д. возстановлены перпендикуляры соотвѣтственно равные $\overset{м.}{0,01}$ умноженному на 1, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$ и т. д. и изображающіе числа колебаній. Концы перпендикуляровъ, соединенные непрерывною линіею даютъ кривую $y = \frac{1}{100} \cdot 10^x$. Подвижной металлическій указатель, раздѣленный на миллиметры и десятыя миллиметра, дозволяетъ измѣрять ординаты кривой.

На оборотной сторонѣ линейки изображена кривая, аналогичная $y = \frac{1}{100} 10^{10x}$, въ которой интервалы или абсциссы суть десятыя абсциссъ кривой, изображенной на лицевой сторонѣ линейки, тогда какъ ординаты сохраняютъ ту же самую величину. Выдвижная линейка имѣетъ только горизонтальныя дѣленія лицевой стороны подъ которою она находится.

Посредствомъ предъидущихъ расположеній можно дѣлать многочисленныя примѣненія:

1) Дѣлать всевозможныя вычисленія надъ интервалами.

2) Находить въ гаммѣ мѣсто нѣкоего музыкальнаго звука даннаго, либо числомъ его колебаній относительно тоники, либо интерваломъ, отдѣляющимъ его отъ этой послѣдней и наоборотъ.

3) Опредѣлить для любаго интервала мѣсто въ гаммѣ разностныхъ комбинаціонныхъ тоновъ различныхъ порядковъ, такъ какъ колебанія *комбинаціоннаго тона* двухъ другихъ тоновъ, выражаемыя разностью ординатъ составляющихъ звуковъ, отсчитываются непосредственно по указателю. Горизонтальныя линіи, проведенныя изъ всѣхъ точекъ *ut*, *ré*, *mi* и т. д. расположенныхъ на кривой, облегчаютъ

это нахожденіе. Когда разность извѣстна, то мѣсто *комбинаціоннаго тона* находятъ тѣмъ, что передвигаютъ указатель до тѣхъ поръ, пока не найдутъ ординату равную этой разности.

4) Совершенно тожественнымъ пріемомъ, находятъ число дрожаній данныхъ двухъ сосѣднихъ звуковъ въ функціи числа колебаній тоники.

Во всѣхъ формулахъ, гдѣ входитъ и число n колебаній звука, можно замѣнить n ординатою кривой $y = a^x$, которая и зображена на линейкѣ. Такимъ образомъ находятъ, соотношеніе въ которое входитъ интервалъ, отдѣляющій тонъ отъ данной тоники и допускающее пользоваться свойствами линейки.

Примѣръ.—Извѣстно, что если обозначить число колебаній струны чрезъ n, ея натяженіе чрезъ T, длину ея чрезъ l, вѣсъ ея единицы длины чрезъ μ, то эти четыре величины между собою связаны формулою

1) $$n^2 = \frac{T}{4\mu l^2};$$

обозначая же чрезъ n_0, T_0, l_0, μ_0, соотвѣтствующія величины струны тоники

2) $$n_0{}^2 = \frac{T_0}{4\mu_0 l_0{}^2},$$

откуда, раздѣляя (1) на (2)

$$\frac{n^2}{n_0{}^2} = \frac{T}{T_0} \cdot \frac{\mu_0}{\mu} \cdot \frac{l^2_0}{l^2}.$$

Но

$$n = y = a^x \text{ и } n_0 = a^0 = 1;$$

слѣдовательно получаютъ

3) $$a^{2x} = \frac{T}{T_0} \cdot \frac{\mu_0}{\mu} \frac{l^2_0}{l^2}.$$

Положимъ теперь, что желаютъ опредѣлить длину, либо натяженіе, либо плотность какой-либо, могущей издать звукъ струны относительно соотвѣтствующихъ величинъ струны тоники, напр. хоть длину. Полагая, что въ уравненіи (3), $T = T_0$, $\mu = \mu_0$, $l_0 = 1$ и взявъ логариѳмъ получимъ

$$x = -\log(l).$$

И такъ, длину струны *sol* относительно струны *ut* получатъ, взявъ влѣво отъ этой послѣдней интервалъ равный *ut-sol* или 0м.,176; тогда отсчитываютъ по указателю соотвѣтствующую величину ординаты кривой, которая и даетъ искомую длину.

Тоже самое относится и къ нахожденію относительнаго натяженія, плотности струнъ и т. п.

Независимо отъ такого рода примѣненій, которыя встрѣтятся въ

такомъ же числѣ, въ какомъ въ формулахъ акустики является n, возможность обнять сразу *непрерывную* лѣстницу звуковъ съ ихъ интервалами, позволяетъ выяснить многочисленныя свойства, которыя будучи анализируемы только разсудкомъ и вычисленіемъ, могутъ быть съ трудомъ нами обняты.

Весьма напр. извѣстенъ тотъ фактъ, что ухо гораздо менѣе чувствительно къ вѣрности низкихъ интерваловъ, чѣмъ высокихъ. Гельмгольцъ приписываетъ это явленіе различію строенія частей слуховаго органа, предназначенныхъ для воспринятія тоновъ различныхъ высотъ. При одномъ взглядѣ на кривую тоновъ кажется, что эта гипотеза излишня. Въ самомъ дѣлѣ тангенсъ угла кривой съ горизонтальною, что можно было бы назвать *уклономъ* пути возрастаетъ какъ и сама ордината

$$\frac{dy}{dx} = a^x \, log.\, nép.\, (a).$$

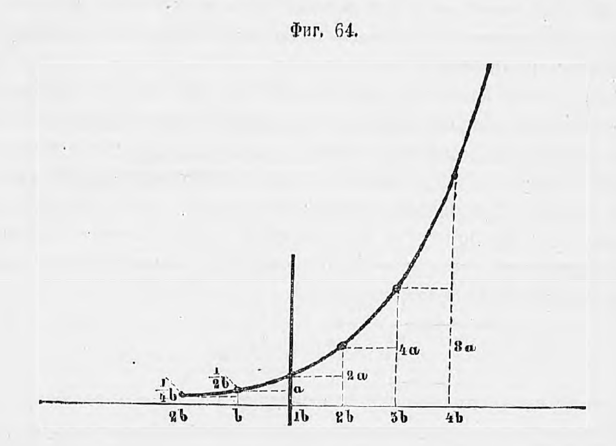
Отсюда слѣдуетъ, что звукъ восходитъ медленнѣе въ басу, чѣмъ въ дискантѣ; для одного и того же интервала, два слѣдующіе другъ за другомъ высокіе звука гораздо болѣе удалены на кривой, чѣмъ соотвѣтствующіе низкіе звуки и естественно, что первые различаемы ухомъ легче.

Такого же рода разсужденія примѣняются и къ предѣлу низкихъ или высокихъ воспринимаемыхъ звуковъ. Кривая $y = a^x$, какъ извѣстно, асимптотически приближается къ отрицательной части оси $x^{овъ}$. Отсюда слѣдуетъ, что, начиная отъ нѣкотораго предѣла, ее можно разсматривать къ этой оси приблизительно параллельною. Въ этой части звукъ уже болѣе не *нисходитъ*; различныя колебанія могутъ еще дать ощущеніе звуковое, но это послѣднее должно необходимо слиться въ нашемъ воспринятіи съ тѣмъ звукомъ, который составляетъ предѣлъ нисхожденія.

Для высокихъ тоновъ, предѣлъ нашихъ воспринятій, казалось бы можно было объяснить вотъ какъ. Положимъ, сообразно гипотезѣ Гельмгольца, что подъ вліяніемъ каждаго отдѣльнаго тона колеблятся особыя образованія. Эти образованія какого бы рода они не были (Гельмгольцъ сначала приписывалъ эту роль Кортіевымъ волокнамъ, въ третьемъ же изданіи своего сочиненія, онъ предполагаетъ, что она выполняется струнами *membrana basilaris*), эти образованія, повторяю я, до нѣкоторой степени подобны способнымъ къ звучанію струнамъ. На кривой звуковъ, которая въ тоже время и кривая длинъ струны, видно, что въ верхней части гаммы эти послѣднія представляютъ не болѣе, какъ совершенно неуловимыя разницы; слѣдовательно при этомъ должны имѣть значеніе различія натяженія. Но

такъ какъ натяженіе возрастаетъ пропорціонально квадрату числа колебаній, квадрату ординаты кривой, т. е. весьма скоро, то оно должно

Фиг. 64.



весьма быстро превзойдти предѣлъ сопротивленія физіологическихъ тканей (tissus physiologiques).

Во всемъ предъидущемъ замѣтятъ, что не было сдѣлано никакой гипотезы относительно *абсолютнаго* числа колебаній *ut*, принятаго за исходную точку. Если объясненія о различіяхъ чувствительности уха въ нижайшемъ предѣлѣ низкихъ звуковъ и въ верхнемъ предѣлѣ звуковъ высокихъ допускается, то возможно сдѣлать заключеніе, разумѣется индуктивно, что эти предѣлы зависятъ только отъ различія интерваловъ, а не отъ *абсолютн й* высоты воспринимаемыхъ звуковъ. Другими словами, высота предѣльныхъ воспринимаемыхъ звуковъ, въ басу или дискантѣ, должна измѣняться для разныхъ животныхъ такъ, чтобы интервалъ между этими предѣльными воспринимаемыми звуками производилъ на кривой относительно малый или большой наклонъ касательной, которымъ мы пытались объяснить верхніе и нижніе предѣлы чувственнаго воспринятія. Напр. для птицы, которая воспринимаетъ чрезвычайно высокіе звуки, нижайшій предѣлъ низкихъ звуковъ начался бы гораздо ранѣе, чѣмъ для человѣка и наоборотъ

Можно допустить, что обыденный, такъ сказать голосъ *рѣчи* каждаго животнаго ощутительно держится средины скалы, воспринимаемыхъ имъ звуковъ. Сравнивая послѣдовательно и тщательно напр. слуховой аппаратъ канарейки съ таковымъ же другой птицы, обладающей относительно болѣе низкимъ голосомъ (курицы, гуся), можно предположить съ большимъ вѣроятіемъ, что различія разсматривае-

мыхъ строеній отвѣчаютъ разницѣ высоты воспринимаемыхъ звуковъ и вывести изъ этого значеніе, свойственное каждому органу.

Такимъ образомъ изслѣдованія Гассе, появившіяся послѣ 1-го изданія «Die Lehre von den Tonempfindungen» доказали, что у птицъ не существуетъ Кортіевыхъ дугъ. Гельмгольцъ долженъ былъ отказаться приписывать имъ значеніе органовъ, служащихъ къ воспринятію тоновъ. Изъ того, что было сказано выше, слѣдуетъ, что объемъ голоса птицъ значительно выше объема человѣческаго голоса; и такъ слѣдуя нашему разсужденію, вѣроятно, что птицы, у которыхъ низкіе звуки начинаютъ сливаться гораздо ранѣе, чѣмъ у насъ, воспринимаютъ болѣе высокіе звуки.

Однако въ механизмѣ фортепіано всякій можетъ замѣтить, что высокіе звуки, замирающіе быстрѣе другихъ, въ *демпферахъ* не нуждаются. Если принять за основу уподобленіе сдѣланное Гельмгольцемъ между фортепіано и ухомъ, то было бы довольно естественно предположить, что назначеніе Кортіевыхъ волоконъ должно бы заключаться въ томъ, чтобы препятствовать продолженію колебаній; это были бы *демпфера* уха, безполезные для птицъ. Для того, чтобы провѣрить этотъ выводъ, было-бы достаточно сдѣлать наблюденія надъ слуховымъ аппаратомъ другихъ животныхъ, обладающихъ высокимъ голосомъ, какъ-то: крысъ, бѣлокъ, и т. п.; если у нихъ Кортіевыхъ дугъ не существуетъ, или же онѣ менѣе многочисленны, то гипотеза сдѣлается до нѣкоторой степени правдоподобною.

Эти чисто теоретическія и умозрительныя соображенія, выведенныя изъ математическихъ свойствъ кривой, не имѣютъ другого значенія, какъ дать исходную точку, или скорѣе предметъ для интересныхъ микроскопическихъ и физіологическихъ изслѣдованій и опытовъ. Эти соображенія имѣютъ, по видимому, свойство навести на методическій способъ и слѣдованія свойствъ слухового аппарата; въ этомъ только смыслѣ я и позволилъ себѣ ихъ изложить здѣсь.

Наконецъ скажу еще и то, что линейка для акустическихъ вычисленій допускаетъ еще оцѣнку различныхъ гаммъ съ другой точки зрѣнія чѣмъ той, которая была принята до сихъ поръ. Возьмемъ напр. темпераціонную и натуральную гамму. Въ темпераціонной гаммѣ октава раздѣлена на 12 равныхъ частей, но именно потому, что эти отстоянія, эти интервалы равны, разницы *высоты* ординатъ, разницы, которыя передаются музыкально комбинаціонными тонами, весьма неровны и весьма неправильны. Располагая-же звуки натуральной гаммы по совершеннымъ аккордамъ (accords parfaits), увидятъ, что измѣненія комбинаціоннаго тона будутъ напротивъ слѣдовать по весьма правильному закону. Скала подобно лѣстницѣ слѣдуетъ ступенями, коихъ ширина равна для каждаго пентахорда интервалу квинты. Слѣдовательно на-

туральная и темпераціонная гаммы основаны обѣ на принципѣ одинаковости и правильности дѣленій; только въ первой эта правильность соотвѣтствуетъ явленію *ощущаемому,* т. е. комбинаціонному тону, тогда какъ во второй одинаковость интерваловъ облегчаетъ только матеріальную конструкцію инструментовъ. Что же касается пиѳагоровой гаммы, въ которой ни интервалы, ни комбинаціонные тоны не слѣдуютъ по одинаковымъ или равномѣрнымъ ступенямъ, то эта скала вдвойнѣ не примѣнима и не имѣетъ никакой основы для своего существованія.

Могутъ ли наконецъ предъидущія соображенія быть до нѣкоторой степени примѣнимыми ко всѣмъ колебательнымъ явленіямъ и даже, по теоремѣ Фурье, ко всѣмъ явленіямъ, характеризованнымъ періодическими движеніями? Разрѣшеніе этого вопроса я предоставляю болѣе компетентнымъ лицамъ.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

С.

Т.

У.

Ф.

Х.

Ц.

Ч.

Ш.

Э.

Ю.

Я.